

Ứng dụng mô phỏng CFD phân tích đặc tính máy nén của tua bin tăng áp động cơ diesel tàu thủy

Applying CFD simulation program to analysis characteristic of turbocharger's impeller of marine diesel engines

Phan Văn Quân

Trường Đại học Giao thông vận tải Thành phố Hồ Chí Minh

Email liên hệ: quan_mt@hcmutrans.edu.vn

Tóm tắt:

Động cơ diesel tàu thủy sử dụng máy nén li tâm làm máy nén tăng áp và nó được dẫn động trực tiếp bởi tua bin khí xả. Quá trình làm việc của máy nén là tổ hợp sự thay đổi các thông số và quá trình nhiệt động học trên cánh máy nén. Điều kiện kỹ thuật và môi trường làm việc của máy nén sẽ ảnh hưởng rất lớn đến đặc tính làm việc của động cơ. Công nghệ mô phỏng, tính toán động lực học dòng chất lỏng và chất khí (CFD) đang phát triển mạnh mẽ và được ứng dụng rộng rãi trong nhiều lĩnh vực khác nhau như: Hàng không, hàng hải và công nghiệp. Nghiên cứu ứng dụng kỹ thuật mô phỏng số CFD để phân tích và mô phỏng quá trình làm việc của máy nén là một nhu cầu cần thiết phục vụ cho bài toán vận hành khai thác và thiết kế máy nén tăng áp cho động cơ diesel tàu thủy. Trong nội dung bài báo, tác giả sử dụng kết quả thực nghiệm của tua bin tăng áp Mitsubishi MET42SC với máy nén DA3G tàu VTB BRAVE để kiểm nghiệm kết quả của chương trình mô phỏng.

Từ khóa: Mô phỏng CFD; máy nén; tua bin tăng áp; đặc tính; lưu lượng dòng khí.

Abstract:

Marine diesel engines use centrifugal compressors as the impellers to supercharge and it is driven directly by exhaust gas turbines. The working process of the impeller is a combination of changing parameters and thermodynamic processes inside the impeller. The technical and environmental conditions of the impeller will greatly affect the working characteristics of the engine. Nowadays, the technology of simulation and calculation of fluid and gas flow dynamics (CFD) is developing and is widely applied in many fields of ships and industry. We propose to research and apply CFD techniques to analyze and simulate the working process of turbocharger impellers for marine diesel engines. The marine diesel impeller CFD simulation program is used to analyze the thermodynamic processes of the impeller and graphically simulate the working states of the impeller at different operating speeds. In this paper, we are using the experimental results to analyze the processes of the Mitsubishi impeller model MET42SC type DA3G installation on M/V VTB BRAVE to verify the simulation results.

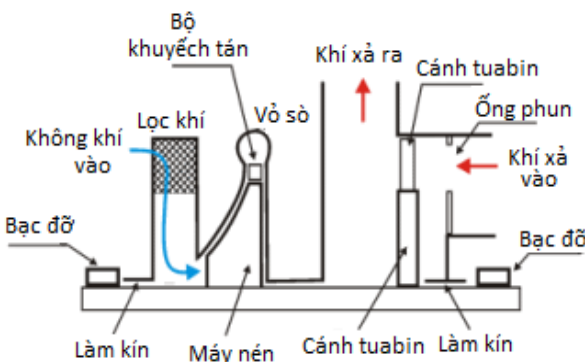
Keywords: CFD simulation; impeller; turbocharger; characteristic; mass flow.

1. Giới thiệu

Động cơ diesel tàu thủy hiện đại ngày nay đều trang bị tổ hợp tua bin tăng áp để tăng công suất và hiệu suất làm việc của động cơ [1], [2]. Tua

bin tăng áp thường được tích hợp bằng một tổ hợp các thiết bị bao gồm tua bin khí xả, máy nén khí, hệ thống bôi trơn và một số thiết bị phụ khác. Nó sử dụng năng lượng khí xả của động cơ để

làm quay tua bin dẫn động cho máy nén khí như được mô tả trên hình 1. Máy nén khí được sử dụng trong tua bin tăng áp thường là máy nén li tâm, một số thương hiệu tua bin tăng áp động cơ diesel tàu thủy thông dụng như: MITSUBISHI, ABB, MAN, KPP, IHI, GARRET, HOLSET, v.v... đều sử dụng máy nén khí li tâm (hình 2). Ưu điểm của loại máy nén này là kích thước nhỏ gọn, chế tạo bằng hợp kim nhôm làm việc ở tốc độ cao, phù hợp với tốc độ quay của tua bin. Ngoài ra máy nén li tâm tạo ra được lưu lượng và áp suất không khí lớn phù hợp cho tăng áp.



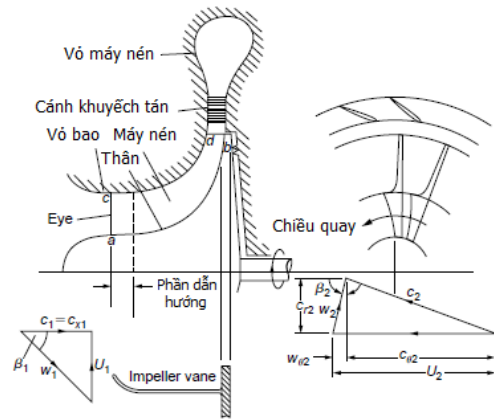
Hình 1. Cấu tạo máy nén khí li tâm.



Hình 2. Máy nén khí tăng áp bằng hợp kim nhôm sử dụng trên động cơ diesel tàu thủy.

Các quá trình tăng áp của máy nén li tâm:

Áp suất không khí được tăng áp trong máy nén li tâm phụ thuộc rất lớn vào biên dạng cánh, tỉ số đường kính vào (D_h) và đường kính ra (D_t) của cánh máy nén [3]. Để hiểu rõ tính năng làm việc và tăng áp của máy nén khí li tâm, ta sẽ lần lượt xem xét nguyên lý của các quá trình tăng áp suất dòng khí trong máy nén được mô tả trên hình 3.



Hình 3. Quá trình tăng áp của máy nén li tâm.

Quá trình tạo nên áp suất tăng áp của máy nén li tâm được chia ra thành ba giai đoạn [4] như sau:

- Quá trình 1: Áp suất dòng khí tăng lên nhờ vào lực li tâm hay bằng hiệu bình phương của entanpy của dòng khí:

$$\Delta p_1 = u_2^2 - u_1^2 \quad (1)$$

- Quá trình 2: Áp suất dòng khí tăng lên nhờ vào sự giảm vận tốc w trong tầng cánh máy nén do tăng tiết diện dòng khí:

$$\Delta p_2 = w_2^2 - w_1^2 \quad (2)$$

- Quá trình 3: Áp suất tăng lên nhờ vào bộ khuếch tán (diffuser) trên đường ra của máy nén:

$$\Delta p_3 = c_2^2 - c_3^2 \quad (3)$$

Trong giai đoạn 3, tốc độ dòng khí giảm sẽ làm cho áp suất dòng khí tăng lên trong bộ khuếch tán, tốc độ ra khỏi bánh cánh máy nén là c_2 và tốc độ ra khỏi máy nén là c_3 .

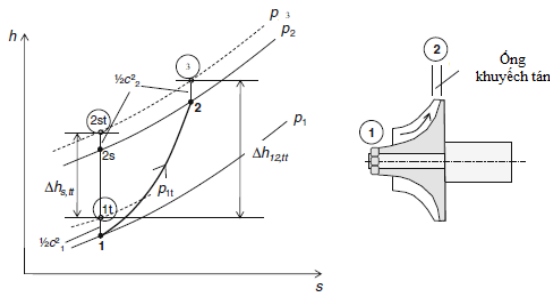
Tổng áp suất tăng lên trong máy nén li tâm có thể được mô tả như phương trình (4) như sau:

$$\Delta p_{tot} = (u_2^2 - u_1^2) + (w_1^2 - w_2^2) + (c_2^2 - c_3^2) \quad (4)$$

Nhờ vào việc tăng áp suất bổ sung trên trường li tâm nên máy nén li tâm có tỉ số tăng áp cao, lưu lượng thấp. Điều này phù hợp để sử dụng làm tua bin tăng áp cho động cơ diesel.

Quá trình tăng áp trên cánh máy nén li tâm được mô tả trên đồ thị h-s [5] ở hình 2, trong đó giai đoạn tăng áp suất trong tầng cánh máy nén là giai đoạn 1 và 2. Ở đây sẽ tổng hợp cả hai quá

trình 1 và 2, quá trình 3 được thực hiện trên ống khuếch tán ở phần vỏ máy nén.



Hình 4. Biểu diễn quá trình tăng áp máy nén li tâm trên đồ thị h-s.

Trong phạm vi trình bày của bài báo, tác giả sẽ ứng dụng CFD để phân tích các quá trình cũng như sự thay đổi các thông số làm việc của máy nén tăng áp theo ba quá trình trên.

2. Mô phỏng CFD đặc tính máy nén tăng áp

Ngày nay, sử dụng các chương trình phần mềm mô phỏng số CFD để mô phỏng trực quan các quá trình kỹ thuật được ứng dụng rộng rãi và mang lại hiệu quả nhất định trong quá trình thiết kế chế tạo cũng như phân tích quá trình làm việc của máy móc thiết bị.

2.1. Xây dựng chương trình mô phỏng cánh máy nén tăng áp bằng CFD

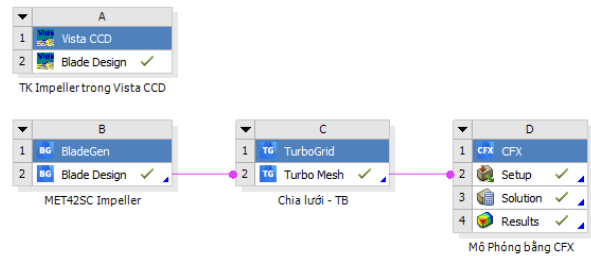
Chương trình mô phỏng CFD trong Ansys 2020 R2 Academic version [6] cho cánh máy nén li tâm sử dụng trong tua bin tăng áp được tiến hành theo các bước sau:

- Mở màn hình Workbench trong Ansys, lưu tên chương trình Modelling MET42SC DA3G Impeller;
- Sử dụng công cụ CCD để thiết kế máy nén theo thông số cơ bản của máy nén như: Đường kính đỉnh ngoài D_t , đường kính ngoài của cửa vào D_h , tỉ số tăng áp π , số cánh máy nén Z , vòng quay máy nén $N(v/p)$ v.v...;
- Sau đó chuyển tiếp dữ liệu của máy nén sang công cụ BladesGen chỉnh sửa góc vào ra cánh, biên dạng cánh cho phù hợp.

- Dùng Turbigrid để chia lưới cánh máy nén phù hợp với chương trình mô phỏng;

- Truyền tiếp dữ liệu sau chia lưới đến cửa sổ CFX để chạy cài đặt thông số làm việc và chạy chương trình mô phỏng, xuất kết quả mô phỏng cho máy nén.

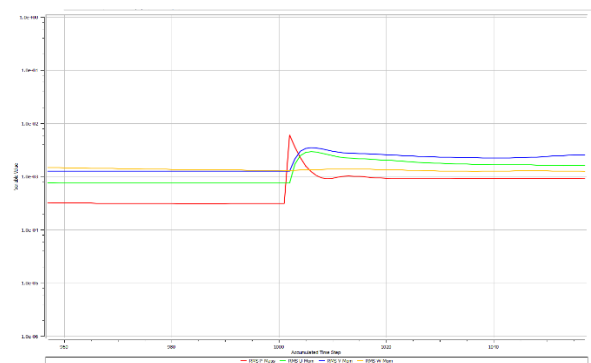
Chương trình mô phỏng máy nén tăng áp trong Ansys R20 được mô tả như hình 5.



Hình 5. Chương trình mô phỏng máy nén.

2.2. Chạy chương trình

Sau khi hoàn thiện chương trình, CFX sẽ chạy, ta thu được kết quả tính toán quá trình và biểu diễn sự thay đổi các thông số làm việc của máy nén theo thời gian, ngoài ra có được kết quả chạy chương trình như mô tả trên hình 6.



Hình 6. Chạy chương trình mô phỏng.

2.3. Kết quả mô phỏng

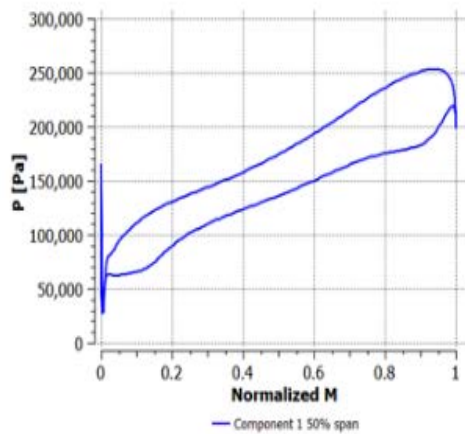
Sau khi chạy chương trình mô phỏng, ta sẽ thu được kết quả mô phỏng rotor máy nén tăng áp với nhiều kết quả tính toán, bảng số liệu, đồ thị thay đổi các thông số của dòng khí và đặc biệt là đồ họa mô phỏng số CFD các diễn biến trong quá trình thay đổi của dòng khí như: Áp suất, nhiệt độ, vận tốc, entropy. Xét trong trường hợp cụ thể của máy nén tăng áp và giới hạn của nội

dung nghiên cứu về tăng áp, ta lần lượt xem xét đến các kết quả của chương trình thu được như sau:

- Các bảng kết quả tính toán của chương trình mô phỏng cánh máy nén. Kết quả của chương trình mô phỏng CFD sẽ cho thấy các bảng biểu thông kê kết quả tính toán quá trình làm việc của máy nén rất chi tiết và cụ thể. Các bảng kết quả biểu đạt các thông số cơ bản mô tả sự làm việc của máy nén.

Bảng 1. Kết quả mô phỏng máy nén.

Thông số	Giá trị	Đơn vị
Rotation Speed	-2303.8300	rad/s
Inlet Mass Flow Rate	11,0690	kg/s
Inlet vol. Flow Rate	4,8659	m ³ /s
Reference Radius	0,2102	m
Input Power	119.664	W
Inlet Flow Coeff.	0,0569	
Total Pressure Ratio	2,6103	



Hình 8. Sự thay đổi áp suất ở phía trước và sau cánh máy nén và dọc theo chiều dài cánh.

- Kết quả mô phỏng cũng cho thấy kết quả sự thay đổi nhiệt độ và biến đổi nội năng của dòng

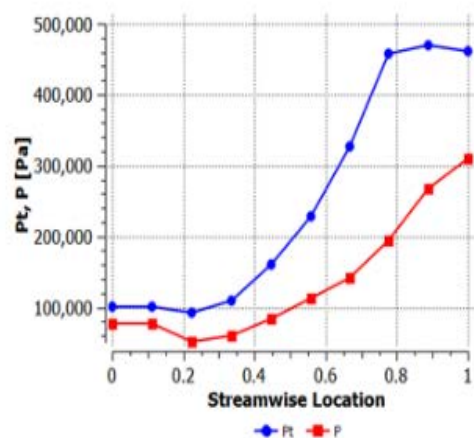
Total Temp. Ratio	1,3470	
Polytropic Head	1.039.460	J.kg/s
P. Head Coefficient	0,4434	
Tot. to Tot Poly. Eff	961.506	%

- Mô phỏng 3D hình dáng, kích thước, cấu tạo của máy nén và tiết diện mặt cắt dọc theo hướng dòng khí từ vào đến ra khỏi tầng cánh máy nén như hình 7. Với kết quả này, ta xác định được kết cấu cánh máy nén, các kích thước hình học và hướng dòng khí lưu động trong tầng cánh máy nén.

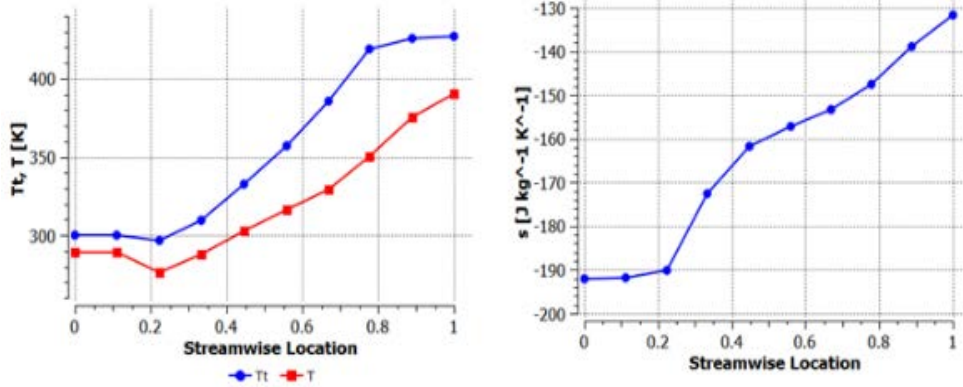


Hình 7. Mô phỏng 3D và mặt cắt máy nén.

- Diễn biến sự thay đổi áp suất bao quanh cánh máy nén, suất tĩnh và áp suất tổng theo hướng dòng trên một nhịp cánh từ đầu vào đến đầu ra khỏi cánh máy nén.



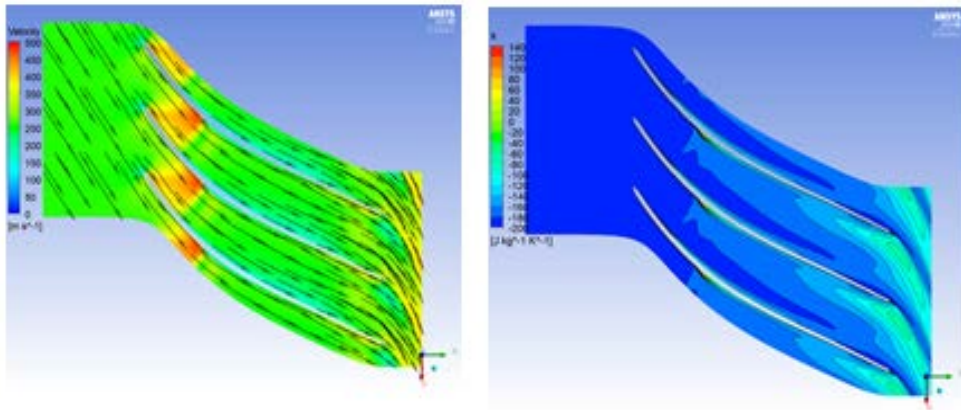
khí (Entropy) từ cửa vào đến cửa ra máy nén.



Hình 9. Thay đổi nhiệt độ và entropy trên cánh máy nén

- Kết quả mô phỏng bằng đồ họa sự thay đổi véc tơ vận tốc, entropy của dòng khí trên tầng cánh, giúp ta xác định được các giá trị trên mặt

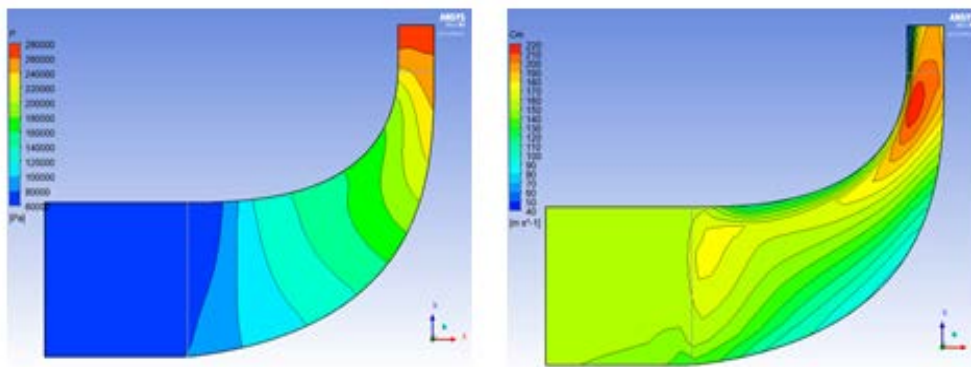
cắt mà dòng khí lưu động đi qua mặt cắt dọc của tầng cánh máy nén ứng với một nhịp cánh tương ứng (hình 10).



Hình 10. Sự thay đổi vận tốc và entropy trên mặt cắt ngang cánh máy nén

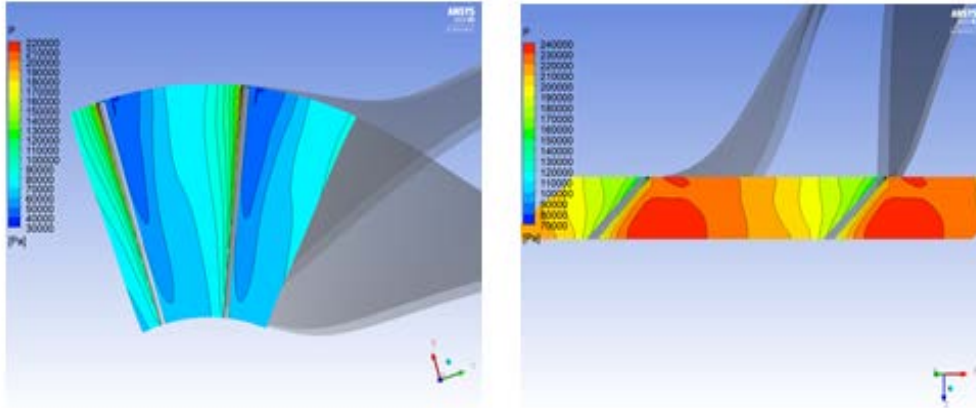
- Mô tả diễn biến thay đổi áp suất không khí tăng áp từ cửa hút đến cửa ra của máy nén bằng đồ họa (hình 11). Theo kết quả thu được từ đồ

họa, ta sẽ quan sát và đánh giá được mức độ thay đổi của áp suất, vận tốc, entanpy, nhiệt độ dòng khí đi qua tầng cánh máy nén và bộ khuếch tán.



Hình 11. Thay đổi áp suất, vận tốc dòng khí.

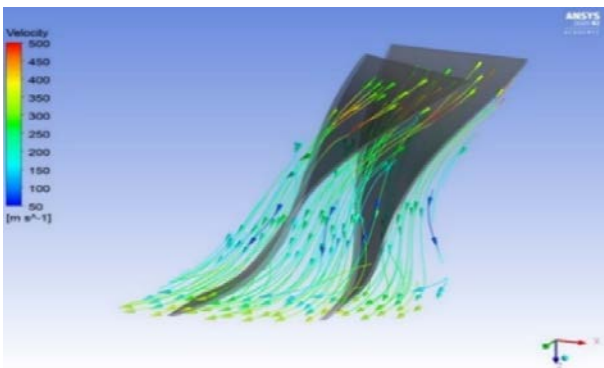
- Đồ họa mô tả áp suất không khí ở cửa vào và cửa ra của không khí trên cánh máy nén.



Hình 12. Diễn biến áp suất không khí ở cửa vào và cửa ra của máy nén.

Đồ họa hình 12 dựa vào màu sắc và biểu đồ giá trị, ta xác định được độ lớn và mức độ đồng đều của áp suất ở đầu cánh vào và đầu cánh ra của máy nén. Từ đó xác định được mức độ chênh áp của cửa vào và cửa ra máy nén cũng như sự phân bố áp suất của cánh máy nén.

- Véc tơ vận tốc biểu diễn hướng và cường độ di chuyển của dòng không khí trong máy nén (hình 13). Theo phương, chiều và màu sắc của các véc tơ vận tốc, so sánh với biểu đồ màu sắc của độ lớn có thể đánh giá mức độ di chuyển của dòng khí trong tầng cánh của máy nén.

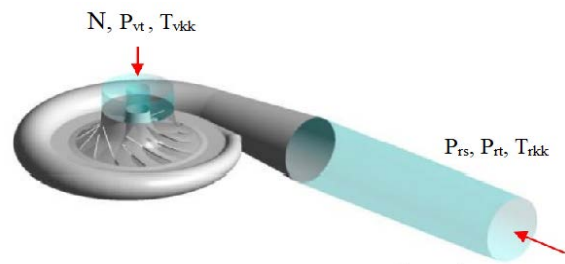


Hình 13. Véc tơ vận tốc dòng khí trên tầng cánh máy nén.

3. Thục nghiệm mô phỏng máy nén DA3G

Như phân tích các kết quả thu được ở phần trên liên quan đến các thông số quan trọng cần đánh giá trong quá trình làm việc của máy nén tăng áp, trong phần này sẽ đánh giá kết quả thu được từ mô phỏng và thực nghiệm của một máy nén tăng áp DA3G thuộc hãng Mitsubishi để kiểm nghiệm

thực nghiệm kết quả mô phỏng bằng CFD của máy nén. Đối với máy nén tăng áp trên động cơ, đã được thiết kế lắp đặt từ nhà chế tạo. Trong thực tế tình trạng làm việc của máy nén được đo và đánh giá qua các thông số được mô tả trên hình 14 như sau:



Hình 14. Các thông số mô phỏng.

Trong đó:

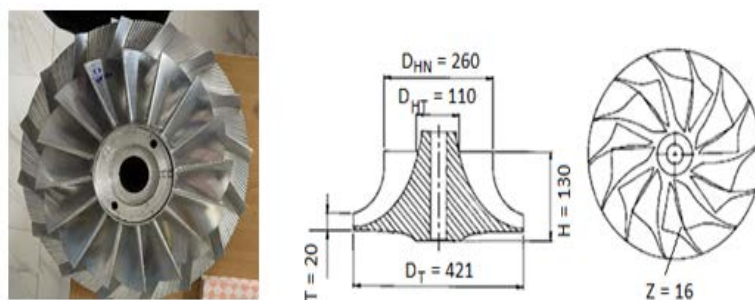
- N : Vòng quay của máy nén;
- P_{vt} : Áp suất tổng vào máy nén;
- T_{vkk} : Nhiệt độ không khí ở cửa vào;
- P_{rs} : Áp suất tĩnh ở cửa ra của máy nén,
- P_{rt} : Áp suất tổng ở cửa ra;
- T_{rkk} : Nhiệt độ không khí của máy nén.

3.1. Thông số thực nghiệm máy nén DA3G

Theo kết quả thực nghiệm trên động cơ lắp máy nén tăng áp DA3G khi thử nghiệm tại xưởng [7], các thông số làm việc liên quan đến máy nén ghi nhận được bao gồm: Vòng quay máy nén N , áp suất không khí tăng áp ra khỏi máy nén $P_{rtđ}$, áp suất không khí vào máy nén P_{vtd} và lượng tiêu

thụ nhiên liệu của động cơ G (kg/h). Để đánh giá và kiểm nhiệm với kết quả mô phỏng, tác giả sẽ sử dụng kết quả thử nghiệm tua bin MET42SC lắp máy nén DA3G của hãng Mitsubishi trên máy chính của tàu VTB BRAVE (được đổi tên từ tàu SUN FRONTIER), đóng mới tại nhà máy đóng tàu MIURA Shipbuilding Co., Ltd Nhật Bản năm 1997. Máy chính là động cơ 02 kỳ quét thẳng Mitsubishi model: 6UEC33LSII, công suất

định mức: 3927 PS và công suất lớn nhất: 4400 PS vòng quay định mức: 210V/P [7]. Máy nén DA3G của hãng Mitsubishi (hình 15) là loại máy nén 01 tầng được lắp đặt trên tua bin tăng áp MET42SC của máy chính tàu thủy. Trong quá trình bảo dưỡng tua bin tăng áp cho tàu VTB Brave đã thu được các thông số kích thước hình học như bảng 2.



Hình 15. Hình ảnh máy nén DA3G.

Bảng 2. Thông số hình học máy nén DA3G.

Thông số	Giá trị	Đơn vị	Chiều cao đỉnh cánh T	Đơn vị
Số cánh máy nén Z	16	Cái	28	mm
Đường kính đỉnh cánh D_T	446	mm	Bề dày trung bình cánh T_c	20 mm
Đường kính ngoài vào D_{HN}	290	mm	Góc vào chân cánh β_{1H}	40 Độ
Đường kính trong vào D_{HT}	116	mm	Góc vào đỉnh cánh β_{1T}	65 Độ
Chiều cao máy nén H	150	mm	Góc ra chân cánh β_{2H}	22.5 Độ
			Góc ra đỉnh cánh β_{2T}	30 Độ

Bảng 3. Thông số thực nghiệm máy nén DA3G.

Thông số	Giá trị			
L %	50	75	100	110
P [PS]	1.954	2.931	3.927	4.210
G [kg/h]	256,7	375,9	497,6	611,1
N [v/p]	12.000	17.300	20.500	21.800
P_{vtd} [Pa]	101.019	100.804	100.764	100.627
P_{rtd} [kg/cm ²]	0,5	1,2	1,8	2,1
P_{rtd} [Pa]	150.358	219.004	277.845	307.264
T_{vkkd} [°K]	307	308	309	310
T_{rkkd} [°K]	353	399	431	449

Bên cạnh các thông số kích thước hình học, điều kiện môi trường cũng là các yếu tố quan trọng quyết định đến đặc tính làm việc của máy nén như: Nhiệt độ và áp suất và lưu lượng của dòng khí. Theo kết quả thực nghiệm của tua bin MET42SC tàu VTB BRAVE ta thu được các thông số như bảng 3. Trong đó:

P : công suất phát của động cơ;

L : phụ tải động cơ tính bằng %;

G : Lượng nhiên liệu tiêu thụ theo giờ tại vòng quay làm việc;

N : Vòng quay của máy nén;

Tải P_{vtd} : Áp suất vào đo được;

P_{rtd} : Áp suất ra đo được;

T_{vkkd} và T_{rkkd} : Nhiệt độ không khí vào và ra đo được.

Từ kết quả ở bảng 3, ta thu được các thông số liên quan đến đặc tính của máy nén như vòng quay, áp suất, nhiệt độ vào, ra của máy nén. Các giá trị đo được bằng thực nghiệm thử tàu ở điều kiện các thiết bị mới lắp đặt nên đảm bảo độ tin cậy cho phép để đánh giá tính năng làm việc của máy nén tăng áp.

3.2. Mô phỏng máy nén bằng CFD

3.2.1. Điều kiện mô phỏng

Để tiến hành mô phỏng máy nén tăng áp bằng CFD, theo cơ sở lý thuyết máy nén li tâm và điều kiện đầu vào của chương trình mô phỏng, ta lựa chọn mô hình theo các điều kiện như sau:

- Áp suất của không khí môi trường cấp vào máy nén được lựa chọn là áp suất khí quyển so với mực nước biển $P_v = 101235 \text{ Pa}$;

- Nhiệt độ môi trường trung bình của không khí vào máy nén trong buồng máy tàu thủy ở khu vực nhiệt đới $T_v = 310 \text{ }^\circ\text{K}$ (37°C);

- Mô hình mẫu của chương trình tính và mô phỏng máy nén theo áp suất, nhiệt độ, dòng không khí vào, lưu lượng dòng khí tiêu thụ, ở đây là lưu lượng không khí cấp vào xi lanh động cơ

được tính bằng Kg/s.

- Theo chương trình được lựa chọn, tương ứng với kết quả thực nghiệm, để tiến hành mô phỏng CFD, cần xác định lượng không khí tiêu thụ của động cơ ứng với các giá trị mô phỏng ở 50%, 75%, 100% và 110% tải của động cơ;

- Lượng không khí thực tế cấp vào động cơ trên đơn vị thời gian [kg/s]. Giá trị này không có trong kết quả thử tàu, ta cần phải xác định lượng không khí thực tế cấp cho động cơ thông qua các giá trị thử nghiệm và lý thuyết.

3.2.2. Xác định lượng không khí cấp vào động cơ thử nghiệm

Theo lý thuyết động cơ diesel tàu thủy, để xác định lượng không khí thực tế đốt cháy lượng nhiên liệu phun vào xi lanh động cơ [8], có thể xác định bởi công thức sau:

$$G_{kkt} = \frac{\pi D^2 S \eta_n \rho_k \varphi_a}{4} \quad (5)$$

Trong đó:

D : Đường kính xi lanh;

S : Hành trình Piston;

η_n : Hệ số nạp của không khí;

φ_a : Hệ số quét;

ρ_k : Khối lượng riêng của không khí nạp và động cơ.

Để xác định lượng không khí thực tế cấp cho động cơ theo hệ số dư lượng không khí α , theo công thức:

$$G_{kkt} = \alpha \cdot G_{lt} \quad (6)$$

Lượng không khí lý thuyết [kg/ct] để đốt cháy lượng nhiên liệu phun vào xi lanh trong một chu trình g_{ct} được xác định:

$$G_{lt} = g_{ct} \cdot G_o \quad (7)$$

G_o : Lượng không khí lý thuyết để đốt cháy 01 ki lô gam nhiên liệu [kg].

g_{ct} : Lượng nhiên liệu phun vào xi lanh động cơ trong một chu trình ta có:

$$g_{ct} = \frac{G_{nl}}{60.i.\tau.n} \quad (8)$$

G_{nl} : Lượng nhiên liệu tiêu thụ cho động cơ trong 01 giờ [Kg/h].

i : Số xi lanh.

τ : Số kỳ.

n : Vòng quay động cơ [v/p].

Theo (6), (7), (8) và các thông số của động cơ, lựa chọn hệ số dư lượng không khí α phù hợp cho động cơ 02 kỳ sẽ xác định được G_{kkt} để đốt cháy lượng nhiên liệu cấp vào động cơ. Tuy nhiên theo [9] lượng tiêu hao không khí thực tế

để đốt cháy 01 ki lô gam nhiên liệu đối với động cơ diesel được xác định bằng các công thức thực nghiệm sau:

- Đối với động cơ diesel 04 kỳ:

$$G_{kkt4} = 3 \times 14 = 42 \text{ kgkk/Kgnl} \quad (9)$$

- Đối với động cơ 02 kỳ:

$$G_{kkt2} = 3 \times 16.5 = 51.5 \text{ kgkk/ kgnl} \quad (10)$$

Sử dụng công thức thực nghiệm (10) cập nhật vào bảng 4 ta có lượng không khí thực tế ứng với từng chế độ làm việc của động cơ. Kết quả tính này được sử dụng cho chương trình mô phỏng CFD.

Bảng 4. Lượng không khí tiêu thụ.

Thông số	Giá trị			
L %	50	75	100	110
N (v/p)	167	191	210	217
P [PS]	1.954	2.931	3.927	4.210
G_{nl} [kg/h]	256,7	375,9	497,6	611,1
G_{kkt}	3,6722	5,3703	7,1184	8,7421

3.2.3. Kết quả thực nghiệm mô phỏng

Theo các thông số thực tế của máy nén DA3G, nhập vào chương trình mô phỏng ở phần 2.1, chạy chương trình lần lượt theo các giá trị vòng quay đã được thử nghiệm thực nghiệm 12.000; 17.300; 19.200 và 21.800 v/p.

Các thông số đầu vào của máy nén, ta sử dụng các kết quả thực tế được xác định ở buồng máy thủy ở điều kiện khí hậu nhiệt đới ta có $P_{vtm} = 101.325 \text{ Pa}$; $T_{kkm} = 37^\circ\text{C}$, Lượng không khí thực tế tiêu thụ của động cơ [kg/s] ứng với từng chế độ làm việc của máy nén từ bảng 4. Kết quả thu

được từ mô phỏng cho các giá trị P_{rtm} và T_{rkkm} được ghi nhận tại bảng 5.

Trong đó:

P_{vtm} : Áp suất vào tổng mô phỏng;

P_{rtm} : Áp suất ra tổng mô phỏng;

T_{vkkm} : Nhiệt độ không khí vào máy nén mô phỏng;

T_{rkkm} : Nhiệt độ không khí ra khỏi máy nén mô phỏng;

G_{kkt} : Lượng không khí thực tế cấp cho động cơ theo phụ tải [kg/s].

Bảng 5. Các thông số từ mô phỏng CFD.

Thông số	Giá trị			
N (v/p)	12.000	17.300	20.500	21.800
P_{vtm} [Pa]	101.325	101.325	101.325	101.325
T_{vkkm} [°K]	310	310	310	310

Thông số	Giá trị			
G_{kkt} [kg/s]	3,6722	5,3703	7,1184	8,7421
P_{rtm} [Pa]	156,253	226,428	280,354	310,257
T_{rkkm} [°K]	371	426	464	467

3.3. Đánh giá kết quả mô phỏng

Theo kết quả thu được từ thực nghiệm và chương trình mô phỏng bằng CFD ở bảng 3 và bảng 5,

tổng hợp sự thay đổi áp suất và nhiệt độ ra của máy nén ở trạng thái thực nghiệm và trạng thái mô phỏng, ta thu được bảng so sánh kết quả như bảng 6.

Bảng 6. Đánh giá kết quả.

Thông số	Giá trị			
N [v/p]	12,000	17,300	20,500	21,800
$P_{rtđ}$ [Pa]	150,358	219,004	277,845	307,264
P_{rtm} [Pa]	156,253	226,428	280,354	310,257
ΔP_r [Pa]	5,895	10,573	2,509	2,993
ΔP_r %	3.92	4.83	0.90	0.96
$T_{rkkđ}$ [°K]	358	410	443	449
T_{rkkm} [°K]	371	426	464	467
ΔT_{rkk} [°K]	13	16	21	18
ΔT_{rkk} %	3.50	3.76	4.53	3.85

Từ bảng 6, ta rút ra các nhận xét đặc tính làm việc của máy nén như sau:

- Qui luật thay đổi áp suất và nhiệt độ của không khí ra khỏi máy nén ở chế độ thực nghiệm và mô phỏng giống nhau;
- Giá trị áp suất ra của hai chế độ tương tự nhau và nằm trong phạm vi sai số cho phép ΔP_r và $\Delta P_r\%$. Sai số lớn nhất nằm ở giá trị vòng quay 17.300 v/p có $\Delta P_r\% = 4,83\%$;
- Giá trị nhiệt độ không khí ra khỏi máy nén ở hai trạng thái tương tự nhau và có sai số lớn nhất $\Delta t = 3,85\%$ ở giá trị vòng quay 21.800 v/p. Sai số này nằm trong phạm vi sai số cho phép của phép đo nên kết quả thực nghiệm và mô phỏng là tương đồng nhau.

- Kết quả mô phỏng thu được của chương trình phù hợp với đặc tính làm việc thực tế của máy nén tăng áp trên động cơ diesel tàu thủy.

4. Kết luận

Chương trình mô phỏng CFD của máy nén tăng áp đã được kiểm nghiệm thực tế theo các thông số áp suất, nhiệt độ và lưu lượng không khí để đánh giá đặc tính làm việc của máy nén tăng áp cho động cơ. Chương trình này cũng có thể sử dụng để phát triển các nội dung nghiên cứu khác liên quan đến máy nén li tâm và tua bin tăng áp của động cơ diesel tàu thủy.

Tài liệu tham khảo:

- [1] V. Q. Phan, C. A. T. Phan; "Study on The Effect of Changing Hull Resistances to Turbochargers Operations of Marine Diesel Engine". In Proc.

- 19th Annual General Assembly – AGA 2018; 17-19 October, 2018; Barcelona, Spain. International Association of Maritime Universities (IAMU); 2018; pp.390-406.
- [2] C. A. T. Phan, V. Q. Phan; “Study on the Dynamic Unbalance of Turbocharger Rotors Effecting to the Operation of Marine Diesel Engine”. Practical Design of Ships and Other Floating Structures. Singapore: Spinger; 2021. DOI: 10.1007/978-981-15-4672-3_51.
- [3] C. D. Rakopoulos, E. G. Giakoumis; “Diesel Engine Transient Operation”. Lodon: Springer; 2009.
- [4] S.L. Dixon, C.A. Hall; “Fluid mechanics and Thermodynamics of Turbomachinery”. Sixth Edition. Oxford, UK: Butterworth-Heinemann (Elsevier); 2010.
- [5] H. Hiereth, P. Prensinger; “Charging the Internal Combustion Engine”. Vienna: Springer; 2007.
- [6] Ansys; “2020 R2 Ansys Academic Version for students”; 2020.
- [7] Miura shipbuilding; “Ship trial reports SUN FRONTIER”; 1997.
- [8] L. V. Lượng; “Lý thuyết động cơ Diezen”. Nhà xuất bản Giáo dục Việt Nam; 2000.
- [9] K.Kuiken; “Diesel Engines 1”. Netherlands: Target Global Energy Training; 2008.

Ngày nhận bài: 27/07/2021

Ngày chuyển phản biện: 30/07/2021

Ngày hoàn thành sửa bài: 20/08/2021

Ngày chấp nhận đăng: 26/08/2021