

NGHIÊN CỨU CÁC THÔNG SỐ ĐẶC TRƯNG CỦA BUỒNG ĐỐT NGƯỢC DÒNG DẠNG ỐNG HÌNH KHUYÊN CỦA ĐỘNG CƠ TUA BIN KHÍ TÀU THỦY BẰNG PHƯƠNG PHÁP MÔ PHỎNG CFD

Nguyễn Quốc Quân^{1,*}, Lê Tiến Dương¹, Trần Quốc Tuấn²

¹Khoa Động lực, Đại học Kỹ thuật Lê Quý Đôn

²Nhà máy X50, Tổng công ty Sông Thu

Tóm tắt

Bài báo trình bày kết quả nghiên cứu đánh giá đặc trưng khí động học của buồng đốt dạng ngược dòng trên động cơ tua bin khí tàu thủy. Mô hình hình học được xây dựng từ buồng đốt động cơ DR76 có kết cấu ngược dòng, dạng ống hình khuyên điển hình trên tàu chiến. Sử dụng phương pháp mô phỏng CFD bằng phần mềm Siemens FloEFD để đánh giá cấu trúc dòng lưu thông, xác định tổn thất áp suất toàn phần, đặc điểm phân chia lưu lượng không khí vào ống đốt ở các vùng sơ cấp, thứ cấp, hòa trộn, làm mát và bộ tạo xoáy... là các dữ liệu hầu như không có công bố với dạng buồng đốt này. Kết quả, khi không tính tới sự cháy, tổn thất áp suất toàn phần trong buồng đốt ngược dòng, dạng ống vòng của động cơ DR76 là 5,5%. Tỷ lệ phân chia lưu lượng dòng không khí qua bộ tạo xoáy khoảng 29%, qua các lỗ sơ cấp và kênh làm mát 40,5% và vùng hòa trộn khoảng 30%.

Từ khóa: Tua bin khí tàu thủy; buồng đốt; ngược dòng; ống hình khuyên; tổn thất áp suất.

1. Giới thiệu

Buồng đốt động cơ tua bin khí có chức năng chính là đốt cháy nhiên liệu được phun từ các vòi phun, với lượng không khí lớn được cung cấp từ máy nén để tạo thành hỗn hợp khí cháy có nhiệt độ phù hợp với yêu cầu làm việc của tua bin. Quá trình đốt cháy phải được thực hiện với tổn thất áp suất toàn phần nhỏ nhất và giải phóng lượng nhiệt tối đa trong giới hạn thể tích buồng đốt [1, 2].

Không phụ thuộc vào chức năng và kết cấu động cơ, buồng đốt đều phải đảm bảo các yêu cầu: hiệu suất cháy cao, tổn thất áp suất toàn phần nhỏ, cường độ nhiệt cao, làm việc ổn định ở mọi chế độ động cơ, độ đồng đều của trường nhiệt độ đi vào tua bin, mức phát thải thấp,... Ngày nay, mục tiêu chính khi thiết kế buồng đốt là phải tăng nhiệt độ khí cháy đi vào tua bin trong khi đảm bảo tổn thất áp suất toàn phần và mức phát thải thấp [3-5].

Ở buồng đốt hiện đại, tổn thất áp suất toàn phần khoảng $4 \div 7\%$, được phân thành 2 loại theo đặc trưng hình thành [3, 6, 8]: Tổn thất thủy lực (do ma sát, dòng rối cản cục bộ, hòa trộn các dòng khí, các dòng xoáy) và tổn thất do cấp nhiệt vào dòng khí. Tổn

* Email: ngquanturbine@lqdtu.edu.vn

<https://doi.org/10.56651/lqdtu.jst.v17.n04.406>

thất áp suất giảm 1% thì tùy vào chế độ làm việc có thể làm giảm công suất tới 1%. Tổn thất thủy lực là đặc trưng cho mức độ hoàn thiện khí động học của buồng đốt, còn gọi là tổn thất “nguội” không phụ thuộc vào sự cháy, cho phép xác định trong điều kiện thực nghiệm trên bệ thử mà không cần đánh lửa, thường nằm trong khoảng $2,5 \div 6\%$. Còn tổn thất do sự gia tăng nhiệt độ khi cháy do giảm mật độ khí và tăng tốc độ cục bộ của dòng (tổn thất “nóng”) tỉ lệ thuận với bình phương vận tốc và được tính gần đúng theo phương trình [3]:

$$\Delta p_h^* = 0.5 \rho C^2 \left(\frac{T_3}{T_2} - 1 \right) \quad (1)$$

trong đó: C - vận tốc dòng vào buồng đốt; T_2, T_3 - nhiệt độ trước và sau buồng đốt.

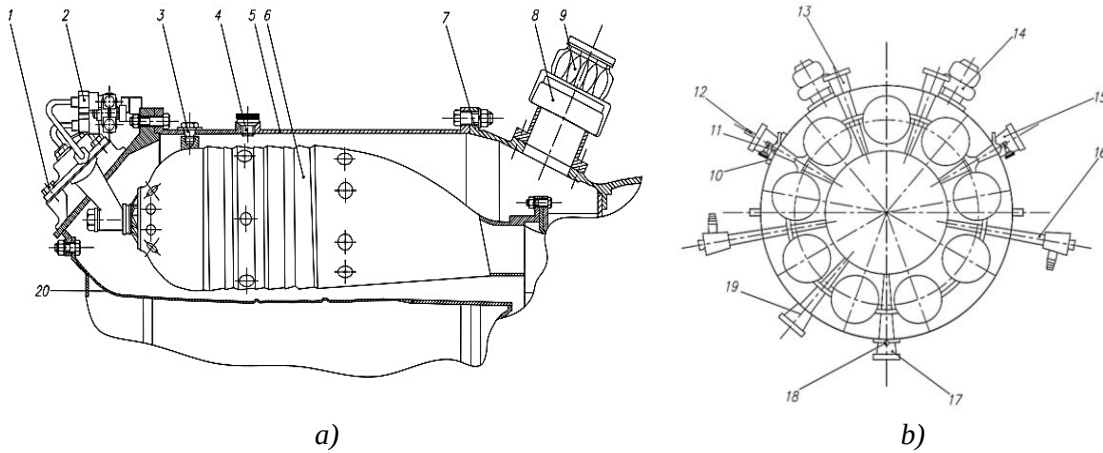
Ngoài phương pháp thí nghiệm trên buồng đốt thực, với một phần hay mô hình đồng dạng, thì hiện nay phương pháp mô phỏng được ứng dụng rộng rãi trong nghiên cứu tính toán khí động học, truyền nhiệt và quá trình cháy trong buồng đốt bằng các phần mềm như Star CCM+ [1, 2], Ansys CFX, Fluent [4, 6-8]. Đối với trường hợp chỉ tính toán mức độ hoàn thiện về khí động học thì không cần thiết lập điều kiện cháy. Còn khi nghiên cứu trường nhiệt độ, tổ chức quá trình cháy và khí phát thải thì yêu cầu thiết lập thêm nhiều điều kiện đặc trưng như: thành phần và mô hình phun nhiên liệu đa pha, cơ chế phản ứng hóa học và mô hình cháy.

Bài báo này trình bày kết quả nghiên cứu mô phỏng khí động học tính toán tổn thất thủy lực và tổ chức dòng không khí trong buồng đốt động cơ tua bin khí tàu thủy DR76 (hãng Zora-Masproekt, Ukraina). Đây là buồng đốt động cơ được sử dụng phổ biến trên tàu chiến ở nhiều nước nhưng hầu như không có dữ liệu được công bố, chỉ có một số nghiên cứu các buồng đốt kết cấu tương tự [5, 7]. Nghiên cứu này không chỉ nhằm làm rõ đặc điểm thiết kế động cơ DR76 thế hệ thứ ba, mà sẽ là căn cứ so sánh với các buồng đốt có kết cấu dạng khác cũng như với động cơ tàu thủy thế hệ mới.

2. Kết cấu đặc trưng buồng đốt động cơ tua bin khí tàu thủy DR76

Buồng đốt của các động cơ tua bin khí của hãng Zoria-Masproekt sử dụng trên tàu thủy hay trạm năng lượng tĩnh tại có kết cấu đặc trưng là dạng ống hình khuyên ngược dòng, ví dụ như trên động cơ DR76 (UGT3000), DR77 (UGT6000) trên tàu Molnia, DO90 (UGT25000) trên tàu Gepard 3.9. Dòng không khí sau máy nén đi vào từ cuối buồng đốt, vòng ngược chiều lên phía trước rồi mới đi vào ống đốt.

Trên hình 1 là các sơ đồ mặt cắt ngang và nhìn theo hướng dòng khí của buồng đốt động cơ hành trình DR76 trên tàu Molnhia.



Hình 1. Buồng đốt động cơ hành trình DR76 trên tàu Molnhia

a) Sơ đồ mặt cắt ngang; b) Sơ đồ nhìn theo hướng dòng khí.

1- Kim phun; 2- Ống góp nhiên liệu; 3- Chốt định vị; 4- Nắp thăm dò; 5- Bao che buồng đốt; 6- Ống lửa; 7- Thân vỏ chịu lực; 8- Cốc; 9- Van xả không khí; 10- Tai vấu; 11- Bộ môi lửa; 12- Ống cấp dầu bôi trơn; 13- Ống thông hơi; 14- Ống xả e khí; 15- Ống cấp khí; 16- Cảm biến vòng quay máy nén cao áp; 17- Ống xả dầu bôi trơn; 18- Nắp thoát nhiên liệu; 19- Ống dẫn không khí; 20- Bao che.

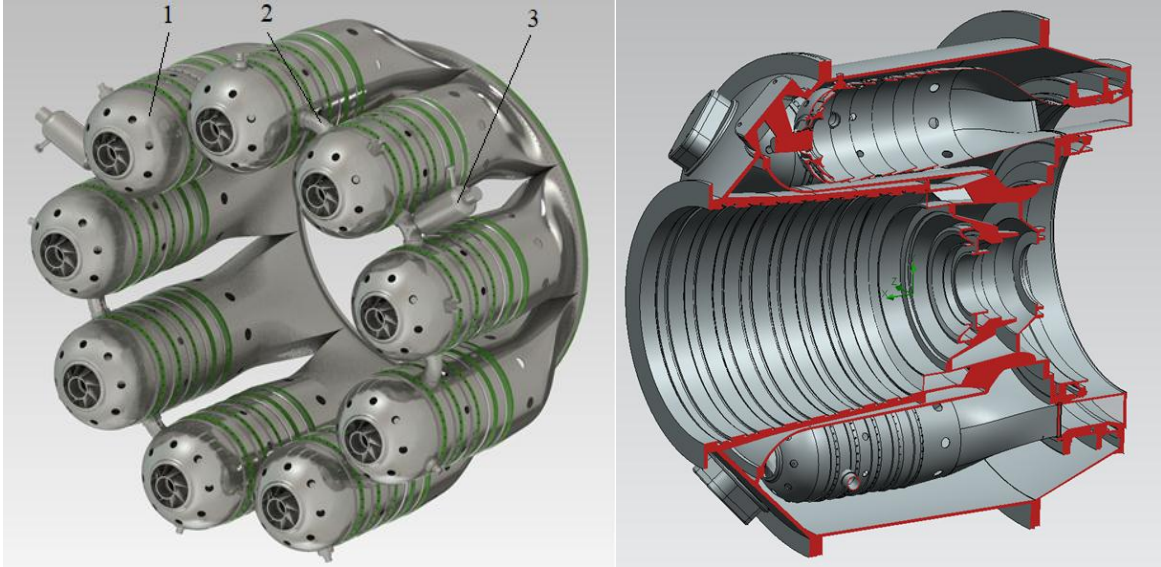
Ống côn trước được chế tạo liền với thân máy nén cao áp, vỏ buồng đốt 5, bao che 20, thân chịu lực 7, chín ống đốt 6, đầu phun 1, ống góp nhiên liệu 2, các cốc lót 8, các van xả không khí 9. Trên vỏ buồng đốt có vị trí để kẹp giữ chín cơ cấu định vị 3, tai vấu cho 2 bộ môi lửa 11, ống nhiên liệu hồi 18, hai cảm biến đo vòng quay của máy nén cao áp, sáu vấu dạng ống giằng thân vỏ sau của máy nén cao áp và gờ để cho khoá quay lạnh rôto của máy nén cao áp. Ống đốt được bố trí song song với trục động cơ trong không gian vòng tròn, không gian này được tạo bởi bao che 20 và vỏ buồng đốt 5. Ống đốt làm mát theo kiểu vách ngăn. Cung cấp và phun nhiên liệu vào buồng đốt bằng chín vòi phun ly tâm dạng 2 kênh nhằm bảo đảm được chất lượng phun nhiên liệu trong tất cả chế độ làm việc của động cơ.

3. Xây dựng mô hình mô phỏng

3.1. Xây dựng mô hình hình học của buồng đốt

Buồng đốt có cấu tạo khá phức tạp, để xây dựng mô hình 3D gần với buồng đốt thực có rất nhiều phương pháp khác nhau: Dựng mô hình 3D từ các bản vẽ mặt cắt với đầy đủ các kích thước hình học chính xác, hoặc sử dụng máy quét 3D mô hình cắt bỏ [2].

Nghiên cứu này sử dụng bản vẽ mặt cắt của nhà sản xuất kết hợp đo đặc buồng đốt động cơ cắt bỏ để xác minh lại các kích thước, sau đó sử dụng phần mềm Siemens NX để thiết kế mô hình 3D. Kết quả mô hình hình học buồng đốt được thể hiện trên hình 2.



Hình 2. Ống đốt và mô hình cắt bỏ 1/2 buồng đốt được xây dựng bằng phần mềm Siemens NX
1- Ống đốt; 2- Vành dẫn lửa; 3- Bộ đánh lửa.

3.2. Xây dựng mô hình mô phỏng bằng phần mềm Siemens FloEFD

Cũng như các phần mềm mô phỏng CFD khác, phần mềm FloEFD sử dụng phương pháp thể tích hữu hạn giải hệ phương trình Navier-Stokes theo thời gian [9]:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial \rho}{\partial x_i} (\rho u_i) = 0 \quad (2)$$

$$\frac{\partial \rho u_i}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_i} (\rho u_i u_j) + \frac{\partial \rho}{\partial x_i} = \frac{\partial \rho}{\partial x_i} (\tau_{ij} + \tau_{ij}^R) + S_i \quad (3)$$

$$\frac{\partial \rho H}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_i} (\rho u_i H) = \frac{\partial}{\partial x_i} (u_i (\tau_{ij} + \tau_{ij}^R) + q_i) + \frac{\partial p}{\partial t} - \tau_{ij}^R \frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \rho \varepsilon + S_i u_i + Q_H \quad (4)$$

$$H = h + \frac{u^2}{2} + \frac{5}{3} k - \frac{\Omega^2 r^2}{2} - \sum_m h_m^0 y_m \quad (5)$$

trong đó: u - vận tốc dòng lưu chất, ρ - mật độ; S_i - đơn vị lực trên đơn vị khối lượng do sức cản do hơi, trọng lực và hệ tọa độ quay; h - enthalpy; Q_H - nguồn nhiệt trên đơn vị thể tích, τ_{ij} - tensor ứng suất tiếp do nhớt, q_i - thông lượng nhiệt khuếch tán; Ω - vận tốc góc của hệ tọa độ quay, r - khoảng cách từ điểm tới trục quay trong hệ tọa

độ quay, k - động năng rối, h_m^0 - enthalpy riêng của phần tử thứ m trong hỗn hợp, y_m - mật độ phần tử m . Các chỉ số 3 trục tọa độ $i, j = 1, 2, 3$.

Mô hình rối dùng để mô tả ảnh hưởng của độ rối tới dòng chảy, đặc biệt là tới ứng suất tiếp và thông lượng nhiệt trên biên, và mỗi mô hình rối lại phụ thuộc vào điều kiện dòng ở gần biên. FloEFD chỉ sử dụng mô hình rối Lam-Bramhost $k-\varepsilon$ ở phần dòng chảy chính, còn ở lớp biên sử dụng mô hình rối Prandtl.

Đối với lưu chất Newton, tensor ứng suất tiếp được định nghĩa:

$$\tau_{ij} = \mu \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} - \frac{2}{3} \delta_{ij} \frac{\partial u_k}{\partial x_k} \right) \quad (6)$$

Theo giả thiết Boussienesq, tensor ứng suất Reynolds được viết dưới dạng:

$$\tau_{ij}^R = \mu_t \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} - \frac{2}{3} \delta_{ij} \frac{\partial u_k}{\partial x_k} \right) - \frac{2}{3} \rho k \delta_{ij} \quad (7)$$

trong đó: δ_{ij} - hàm Kronecker (bằng 1 nếu $i = j$, bằng 0 nếu ngược lại), μ - độ nhớt động lực học, μ_t - độ nhớt của xoáy rối và k - động năng rối. Đối với dòng chảy tầng μ_t và k sẽ bằng 0, còn với mô hình rối $k-\varepsilon$ thì μ_t sẽ được xác định bằng hai tham số chính là động năng rối k và khuếch tán rối ε :

$$\mu_t = f_\mu \frac{c_\mu \rho k^2}{\varepsilon} \quad (8)$$

với f_μ là hệ số nhớt rối được xác định bằng biểu thức:

$$f_\mu = \left[1 - \exp(-0.0165 R_y) \right]^2 \left(1 + \frac{20.5}{R_T} \right) \quad (9)$$

trong đó: $R_T = \frac{\rho k^2}{\mu \varepsilon}$; $R_y = \frac{\rho \sqrt{k} y}{\mu}$, với y là khoảng cách từ biên. Hàm này cho phép chuyển đổi qua lại giữa dòng chảy tầng và dòng chảy rối.

Hai phương trình biến đổi bổ sung dùng để biểu diễn động năng rối và khuếch tán rối:

$$\frac{\partial \rho k}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_i} (\rho u_i k) = \frac{\partial}{\partial x_i} \left(\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_i} \right) + S_k \quad (10)$$

$$\frac{\partial \rho \varepsilon}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_i} (\rho u_i \varepsilon) = \frac{\partial}{\partial x_i} \left(\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon} \right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_i} \right) + S_\varepsilon \quad (11)$$

Các tham số nguồn S_k và S_ε được xác định:

$$S_k = \tau_{ij}^R \frac{\partial u_i}{\partial x_j} - \rho \varepsilon + \mu_t P_B \quad (12)$$

Ở đây, P_B biểu thị sinh rối do các lực nổi và được viết dưới dạng:

$$P_B = - \frac{g_i}{\sigma_B} \frac{1}{\rho} \frac{\partial \rho}{\partial x_i} \quad (13)$$

với g_i là thành phần gia tốc trọng trường theo phương x_i , hằng số $\sigma_B = 0,9$, và $C_B = 1$ nếu $P_B > 0$ và bằng 0 nếu:

$$f_1 = 1 + \left(\frac{0,05}{f_\mu} \right)^3; f_2 = 1 - \exp(-R_T^2) \quad (14)$$

Hằng số trong các phương trình đều được xác định bằng thực nghiệm, trong đó:

$$C_\mu = 0,09; C_{\varepsilon 1} = 1,44; C_{\varepsilon 2} = 1,92; \sigma_\varepsilon = 1,3; \sigma_k = 1.$$

Khi số Lewis $Le = 1$ thì thông lượng nhiệt khuếch tán được xác định theo biểu thức:

$$q_i = \left(\frac{\mu}{Pr} + \frac{\mu_t}{\sigma_c} \right) \frac{\partial h}{\partial x_i}; i = 1, 2, 3 \quad (15)$$

với $\sigma_c = 0,9$, Pr - số Prandtl, h - enthalpy.

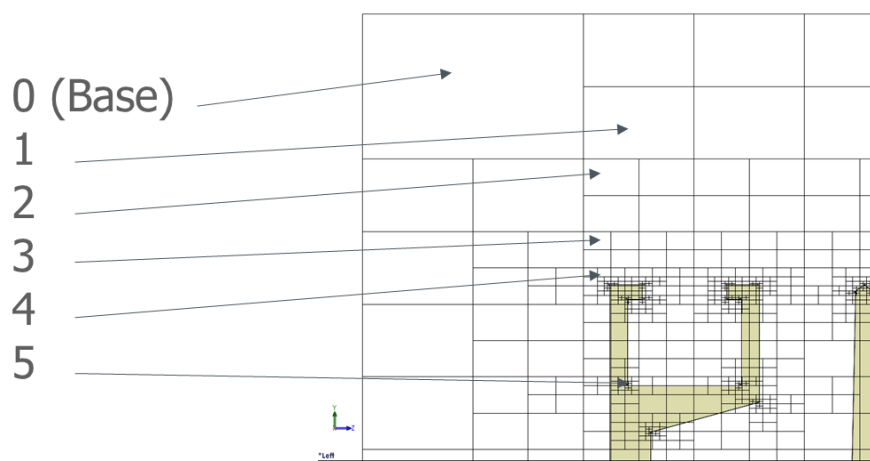
Đối với bài toán tĩnh thì các biến (ρ , u_i , H , p , k , ε) ở trên sẽ không thay đổi theo thời gian.

Ngoài ra, phần mềm FloEFD sử dụng các phương pháp đặc trưng sau:

- Sử dụng mô hình hình học đã được thiết kế trên phần mềm tích hợp nên không phải mất khâu trung gian để chuyển đổi và vẫn đảm bảo độ tin cậy. Hiện nay các phần mềm thương mại thường bắt buộc đơn giản hóa tối đa các chi tiết phức tạp. Trong công nghiệp, các mô hình lại thường phức tạp nên việc đơn giản hóa và chia lưới tốn phần lớn thời gian, công sức, đồng thời có thể làm mô hình mô phỏng khác xa so với thực tế.

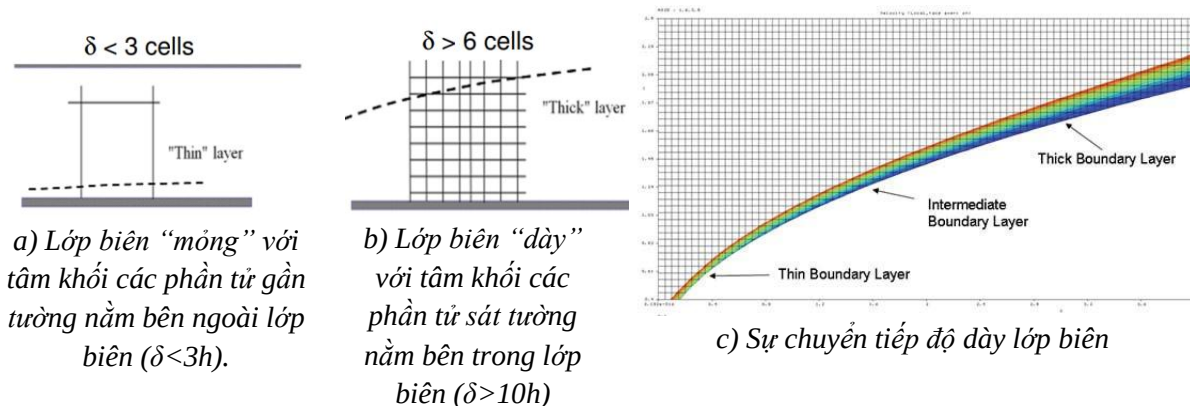
- Có công nghệ chia lưới tự động SmartCells với phần tử dạng hình hộp chữ nhật, có thể chứa đồng thời cả chất lưu và chất rắn, giúp giải bài toán tại những vị trí biên chất lưu-chất rắn mà không cần phải chia lưới quá chi tiết, nhất là khi kích thước quá nhỏ (Hình 3) được đánh giá không ảnh hưởng tới bài toán. Các phần tử được chia theo 10 cấp độ, từ 0 tới 9 và hai ô lưới cạnh nhau thì cấp độ phải liền nhau. Với 10 cấp độ, ô lưới nhỏ nhất sẽ nhỏ hơn 2^9 lần ô lưới lớn nhất, là một cấp độ chia rất nhỏ đối với mọi mô hình. Với các mô hình phức tạp, cần xác định các vị trí cần tính tới của lưu chất là ô lưới cấp độ nhỏ nhất, sau đó cấp độ lưới được tăng dần ở các vị trí lớn hơn. Các vị trí

khác không cần tính tới thì FloEFD sẽ tự động bỏ qua mà không phải làm công đoạn làm sạch mô hình như ở các phần mềm khác.



Hình 3. Mô hình bậc lưới dạng hình hộp với phần tử được chia nhỏ theo cấp số nhân.

- Lớp biên được giải dựa vào hệ phương trình Navier-Stokes truyền thống kết hợp với các công thức thực nghiệm và phương pháp giải tích một cách tự động tùy thuộc vào độ mịn lưới tại đó. Lớp biên được phân làm ba loại: dày, mỏng và trung bình. Lớp biên mỏng là khi độ dày lớp biên δ nhỏ hơn 3 lần ô lưới sát biên h , lúc này phần mềm sử dụng phương pháp giải tích (Hình 4a). Lớp biên được coi là “dày” nếu $\delta > 10h$, khi đó phần mềm áp dụng các hàm tường bằng phương pháp Van-Driest (Hình 4b). Trong trường hợp lớp biên trung bình sẽ kết hợp hai phương pháp trên sao cho có sự chuyển tiếp êm giữa hai mô hình: khi lưới mịn sẽ dùng thuyết Van-Driest, ngược lại sẽ giải như biên mỏng bằng phương pháp giải tích (Hình 4c).

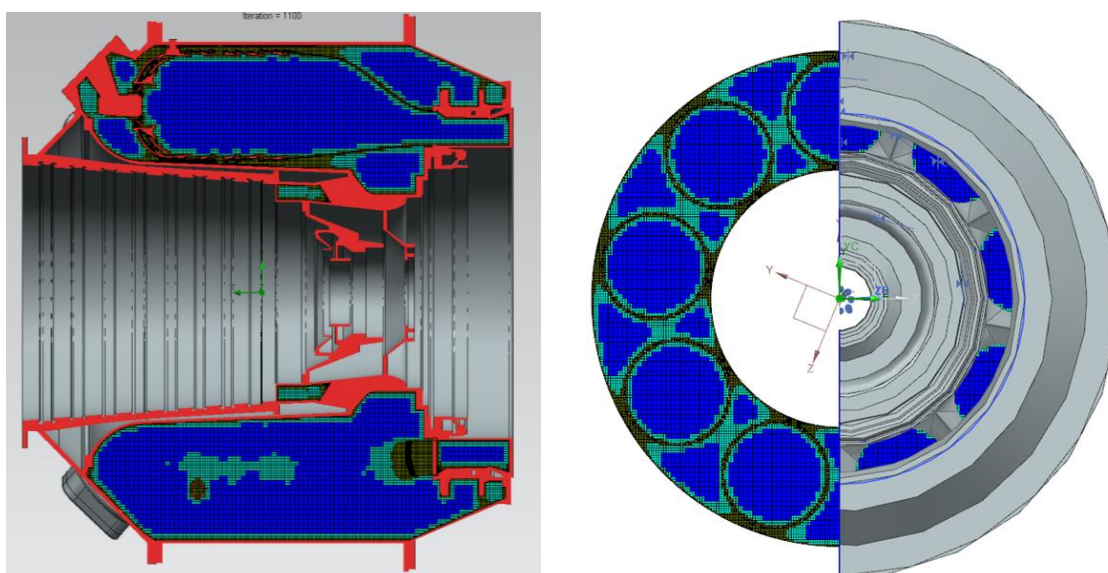


Hình 4. Phân loại lớp biên trong FloEFD.

Mô hình chia lưới buồng đốt trong bài báo này với 4 cấp độ (0 tới 3) gồm hơn 12 triệu phần tử (Hình 5). Kích thước phần tử nhỏ nhất được tính toán dựa vào các vị trí hẹp nhất cần tính tới như là ở các lỗ có tối thiểu 5 phần tử. Việc lựa chọn cấp độ lưới cũng

như kích thước ô nhỏ nhất đã được thử nghiệm dựa vào tính hội tụ kết quả mô phỏng cũng như giới hạn tài nguyên máy tính (128Gb RAM, 2 CPU Xeon 40 core).

Các điều kiện biên tương ứng chế độ định mức của động cơ: Áp suất tĩnh đầu vào 1367887,5 Pa, nhiệt độ đầu vào 650 K, lưu lượng đầu ra 13,5 kg/s. Phần mềm FloEFD sử dụng mô hình rối Lam-Bremhorst $k-\epsilon$ ở phần dòng chảy chính, còn ở lớp biên dùng mô hình rối Prandtl.



Hình 5. Mô hình chia lưới buồng đốt với hơn 12,6 triệu phần tử:
a) Theo mặt cắt dọc; b) Theo mặt cắt ngang đi qua lỗ cung cấp khí thứ cấp.

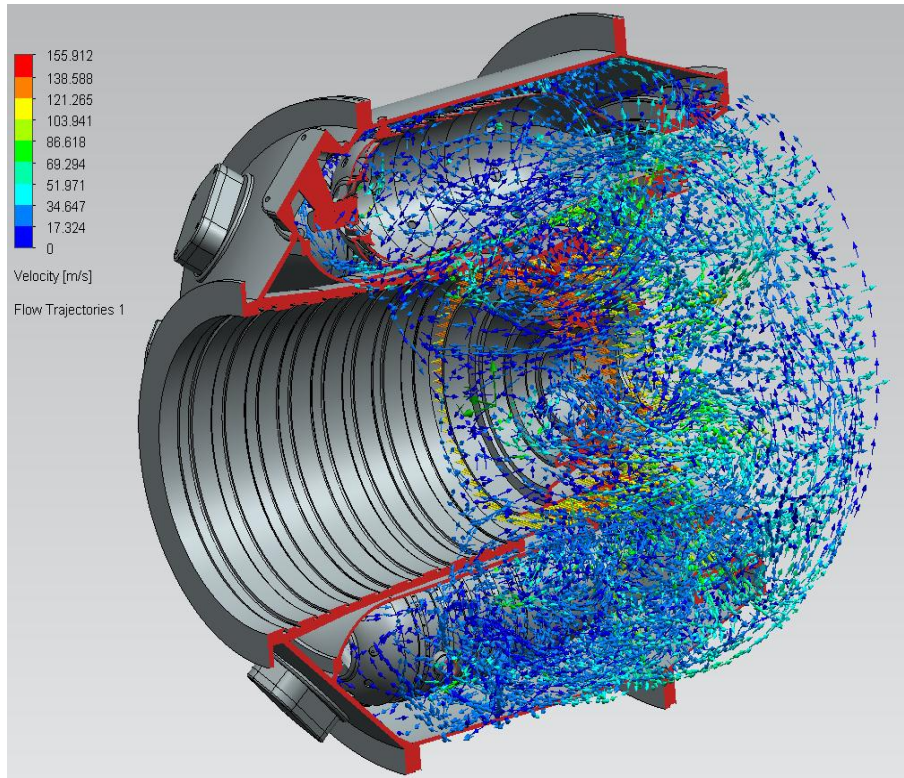
4. Kết quả tính toán mô phỏng

Trên hình 6 thể hiện chuyển động của dòng không khí trong buồng đốt với giá trị vận tốc thể hiện bằng màu sắc và hướng của dòng khí được thể hiện bằng chiều mũi tên. Vận tốc dòng không khí sau máy nén cao áp, bắt đầu đi vào buồng đốt với giá trị trung bình 120,6 m/s, lớn nhất là 155 m/s. Tại khu vực vùng cháy chính (vùng I), dòng khí bị dừng lại hay xoáy ngược với vận tốc thấp dưới 20 m/s, đảm bảo cho nhiên liệu có thể cháy được (nếu vận tốc quá 30 ÷ 40 m/s thì lửa sẽ bị tắt). Dòng được ổn định và tăng tốc ở đầu ra của buồng đốt với vận tốc trung bình 39,5 m/s, nhỏ hơn nhiều so với giá trị lý thuyết khi có sự cháy.

Từ kết quả áp suất toàn phần trung bình đi vào và ra buồng đốt (Hình 8), tính được hệ số áp suất của buồng đốt (khi không cháy):

$$\sigma_{BD} = 1 - \frac{p_{in}^* - p_{out}^*}{p_{in}^*} = 1 - \frac{1421878 - 1344179}{1421878} = 0,945 \quad (16)$$

trong đó: p_{in}^* , p_{out}^* tương ứng là áp suất trung bình trước và sau buồng đốt.



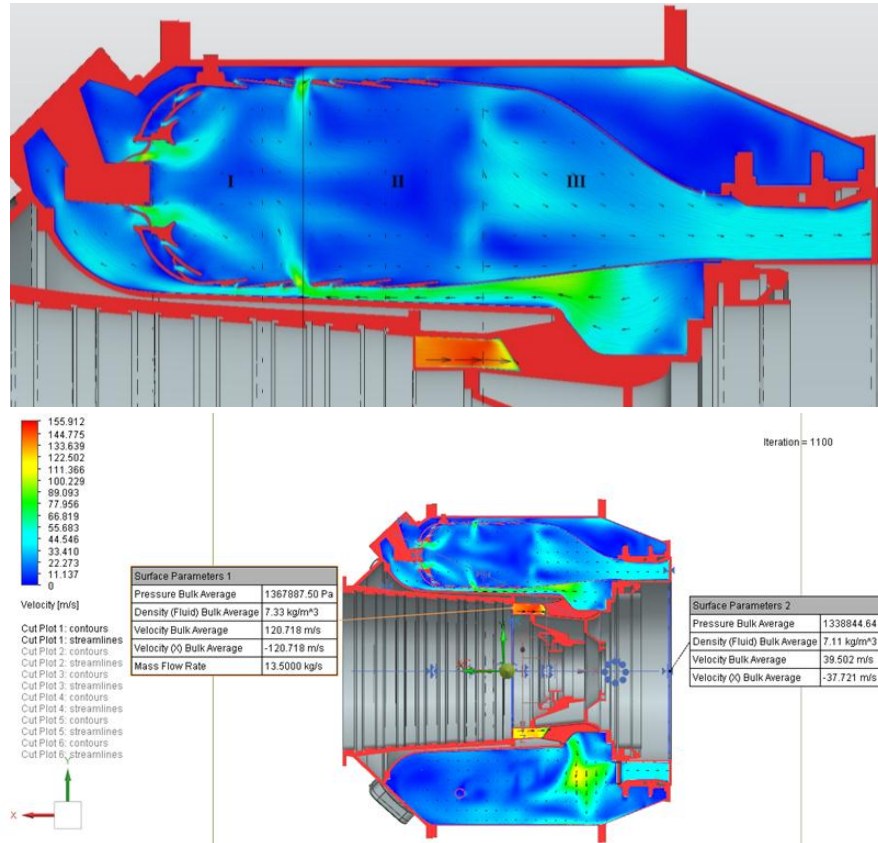
Hình 6. Hướng và vận tốc chuyển động dòng không khí trong buồng đốt.

Hệ số áp suất là 0,945 tương ứng tổn thất áp suất là 5,5%. Hầu như không có công bố cụ thể tổn thất của buồng đốt động cơ DR76 hay các các động cơ cùng loại, ngoại trừ trong bài báo [10] trình bày dữ liệu động cơ DN70 (UGT10000) có cùng kết cấu với áp suất trước và sau buồng đốt tương ứng 1,92 MPa và 1,81 MPa, nghĩa là tổn thất áp suất là 5,7% trong điều kiện cháy.

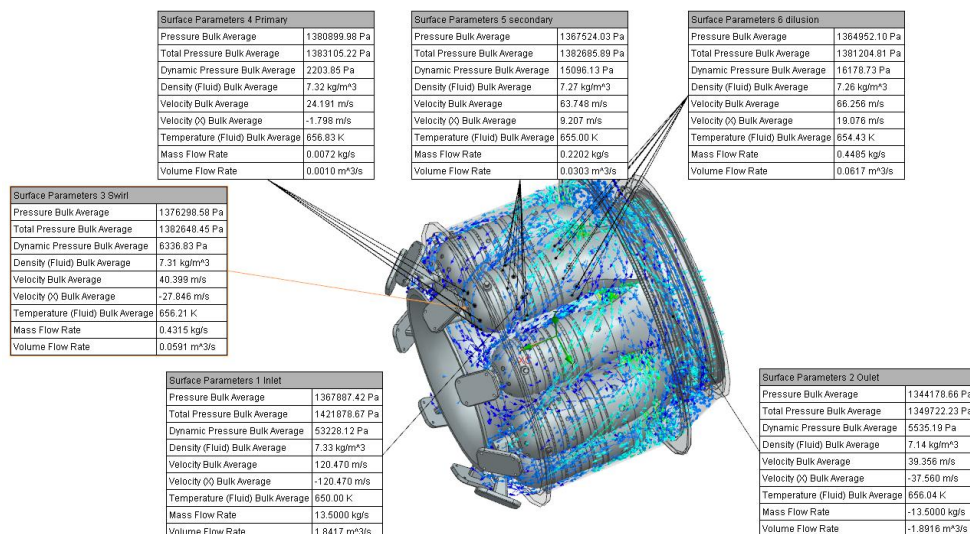
Trên hình 8 thể hiện các kết quả tính toán lưu lượng dòng khí qua các vùng (Bảng 1) trong buồng đốt. Cụ thể, vùng sơ cấp qua đầu ống đốt (mà chủ yếu là qua bộ tạo xoáy) chiếm gần 29,5% lưu lượng, qua các lỗ và kênh làm mát chiếm 40,5% và vùng hòa trộn khoảng 30%, tương ứng tỉ lệ 3:4:3.

Để so sánh, thông số thử nghiệm trên bộ thử của buồng đốt dạng vành động cơ hàng không TV3-117 có tỉ lệ 2:3:5, với khoảng 20% lưu lượng đi qua bộ tạo xoáy, 30% để làm mát ống đốt và 50% đi vào vùng hòa trộn [11]; ở động cơ TV2-117 cũng khoảng 25 ÷ 30% không khí đi qua bộ tạo xoáy [12]. Ở các tài liệu lý thuyết, thường mô tả tỉ lệ không khí ở vùng cháy và hòa trộn là 3:7, trong đó vùng cháy gồm 20% qua đầu ống

đốt và 10% qua các kênh làm mát đầu tiên, còn 70% còn lại qua các kênh làm mát tiếp theo cũng như các lỗ hòa trộn ở cuối ống đốt.



Hình 7. Vận tốc dòng không khí trong buồng đốt tại mặt cắt dọc trục
I- Vùng cháy chính; II- Vùng cháy phụ; III- Vùng hòa trộn.



Hình 8. Tính toán các thông số dòng khí tại các vị trí đặc trưng trong buồng đốt.

Bảng 1. Kết quả tính toán phân bố lưu lượng không khí

Dòng không khí	1/9 buồng đốt, [kg/s]	Buồng đốt, [kg/s]	Tỉ lệ, %
Qua các lỗ đầu ống đốt	0,0072	0,0648	0,48
Qua bộ tạo xoáy	0,4315	3,8835	28,77
Các lỗ vùng thứ cấp	0,2202	1,9818	14,68
Các lỗ vùng hòa trộn	0,4485	4,0365	29,90
Các kênh làm mát ống đốt	0,3926	3,5334	26,17

5. Kết luận

Phần mềm Siemens FloEFD phù hợp để mô phỏng khí động học buồng đốt nói chung và động cơ tua bin khí nói riêng mà không cần đơn giản hóa mô hình hình học.

Khi không tính tới sự cháy, kết quả mô phỏng cho thấy tổn thất áp suất toàn phần trong buồng đốt ngược dòng, dạng ống vòng trên động cơ DP76 là 5,5%. Tỉ lệ phân chia 3:4:3 lưu lượng dòng không khí qua bộ tạo xoáy khoảng 29,5%, qua các lỗ sơ cấp và kênh làm mát 40,5% và vùng hòa trộn khoảng 30%. Kết quả này tương đối khác so với một số buồng đốt dạng vành là 2:3:5, hay tỉ lệ lý thuyết thiết kế buồng đốt 2:4:4.

Kết quả mô phỏng cũng cho thấy chi tiết trường vận tốc và cấu trúc dòng không khí trong buồng đốt dạng ngược dòng trên động cơ tua bin khí tàu thủy và là cơ sở để tiếp tục nghiên cứu mô phỏng quá trình cháy và truyền nhiệt.

Tài liệu tham khảo

- [1] Nguyễn Quốc Quân, Nguyễn Trung Kiên, Phạm Vũ Thành Nam, “Nghiên cứu đặc trưng khí động và quá trình cháy trong buồng đốt dạng vành của động cơ tua bin khí bằng phương pháp CFD,” *Tạp chí Cơ khí Việt Nam*, 10/2020, tr. 336-346.
- [2] Phạm Vũ Thanh Nam, Phạm Dung Hà, Nguyễn Trung Kiên, Nguyễn Quốc Quân, Phạm Văn Thín, Nguyễn Mạnh Hùng, Phạm Xuân Phương, “Characterizing airflow in the annular combustor diffuser of an aviation gas turbine engine,” *Journal of Science and Technique*, No. 209 (7-2020), Le Quy Don Technical University, pp. 73-84.
- [3] Arthur H. Lefebvre, Dilip R. Ballal, *Gas Turbine Combustion: Alternative Fuels and Emissions*, Third Edition, CRC Press, 2010, 557p.
- [4] Serhiy Serbin, Kateryna Burunsuz, “Numerical study of the parameters of a gas turbine combustion chamber with steam injection operating on distillate fuel,” *International Journal of Turbo & Jet-Engines*. doi:10.1515/tjeng-2020-0029
- [5] Буданова Н.А., Ванцовский В.Г., Коротич Е.В. *Создание низкоэмиссионных камер сгорания для газотурбинных двигателей ДН70, ДН80, ДБ90. Судовое и*

- энергетическое газотурбостроение. Т. 1: Научно-исследовательские и опытно-конструкторские разработки. Николаев: НПКГ Зоря-Машпроект, 2004, С. 31-35.
- [6] Александров Ю.Б., Нгуен Т.Д., Мингазов Б.Г. *Определение гидравлических потерь на основе моделирования течения в элементах камеры сгорания газотурбинного двигателя*. Вестник ПНИПУ. Аэрокосмическая техника, 2021, № 65, стр. 7-16.
- [7] Сербин С.И., Мостипаненко А.Б. Совершенствование характеристик камеры сгорания газотурбинного двигателя с использованием методов трехмерного моделирования. *Електронний Вісник НУК*, №1 2010, УДК 621. 45.034.
- [8] Костюк В. Е. Численное моделирование гидравлических характеристик и температурного поля газа камеры сгорания малоразмерного ГТД. *Вестник двигателестроения*, 2010, № 2, стр. 124-135.
- [9] FloEFD Technical Reference, Mentor Graphics Corporation, 2018.
- [10] Крушневич С.П. “Эксергетический анализ газотурбинного двигателя простого цикла,” *Энерготехнологии и ресурсосбережение*, 2011, № 2, стр. 11-15.
- [11] Кеба И.В. *Авиационный газотурбинный двигатель ТВ2-117*. М.: Машиностроение, 1977, 176 с.
- [12] А.Г. Войтко, А.С. Антоненко. *Конструкция турбовального ГТД ТВ3-117*. Киев: КВВАИУ, 1982, 96 с.

STUDY ON CHARACTERISTIC PARAMETERS OF AN UPSTREAM TUBE-ANNULAR COMBUSTION CHAMBER OF THE MARINE GAS TURBINE ENGINE BY CFD SIMULATION

Abstract: *This article presents the numerical study of combustor aerodynamic parameters of marine gas turbine engines to evaluate the actual characteristics. With the 3D model built from the upstream tube-annular combustor of DR76 engine, using CFD approach to evaluate the flow structure, determine the total pressure drop, the airflow distribution into the linner in primary, secondary and dilution zones. As a result, the cold pressure loss in the combustor was 5.5% of the inlet pressure, the air mass flow through the swirl zone by about 29%, the primary orifices and cooling channels by 40.5%, and the dilution zone by 30% of the total combustor airflow.*

Keywords: Marine gas turbine; combustion chamber; upstream; tube-annular; total pressure drop.

Nhận bài: 06/06/2022; Hoàn thiện sau phản biện: 12/08/2022; Chấp nhận đăng: 16/09/2022

