ỨNG DỤNG PHẦN MỀM ANSYS VÀ ASTRA TRONG TÍNH TOÁN MÔ PHỎNG ĐỘNG CƠ TUABIN PHẢN LỰC CỠ NHỎ TRANG BỊ TRÊN KHÍ CỤ BAY KHÔNG NGƯỜI LÁI

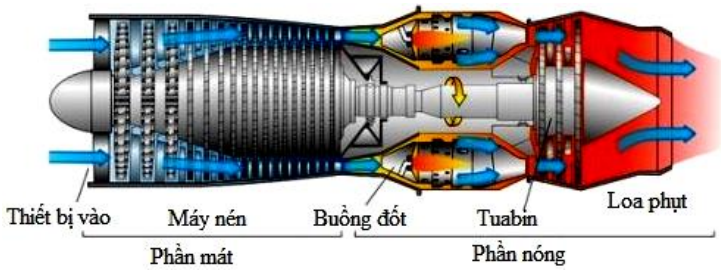
Đặng Quang Giang[1*], Trần Đình Kiên[1], Dmitri Valentinovik[2],
Trần Minh Tuấn[1], Nguyễn Hải Minh[1], Nguyễn Thế Phi[1]

Tóm tắt: *Bài báo trình bày về phương pháp sữ dụng một số phần mềm như Ansys, Astra trong tính toán mô phỏng quá trình hoạt động động cơ tuabin phản lực cỡ nhỏ. Bằng việc sử dụng phần mềm ansys và astra chúng ta mô phỏng được dòng chảy trong động cơ, đồng thời xác định được sự ảnh hưởng của các các yếu tố về kích thước hình học của các bộ phận khác nhau lên dòng chảy trong động cơ. Kết quả tính toán giúp quá trình thiết kế được rút ngắn đồng thời tối ưu hóa kết quả tính toán và làm giảm chi phí chế tạo mẫu và thử nghiệm động cơ.*

Từ khóa: Động cơ tuabin phản lực; Động cơ phản lực.

1. MỞ ĐẦU

Động cơ tuabin phản lực (hình 1) là một dạng đơn giản của động cơ tuabin khí, nó gồm 1 trục và 1 luồng. Kết cấu động cơ tuabin phản lực này thực hiện quá trình làm việc như một dạng của máy nhiệt, mà trong đó hiệu suất của động cơ là giá trị đặc trưng cho tính kinh tế, hiệu quả làm việc của động cơ cũng như giá thành chế tạo và khai thác của động cơ. Đây cũng chính là nguyên nhân cho việc phải nghiên cứu quá trình làm việc của động cơ.



Hình 1. *Kết cấu động cơ tuabin phản lực dạng 1 trục.*

Các thành phần chính của động cơ tuabin phản lực bao gồm: thiết bị vào, máy nén, buồng đốt, tuabin, loa phụt. Thông thường các thành phần này sẽ được thiết kế chế tạo độc lập ở nhà máy chế tạo động cơ. Nên việc đánh giá sự ảnh hưởng lên nhau cũng như sự đồng bộ của các bộ phận này chỉ có thể thực hiện thông qua con đường thử nghiệm. Đây là cách rất tốn kém, phức tạp và mất nhiều thời gian. Bởi vì nó không cho phép đánh giá được sự ảnh hưởng lên nhau của các chi tiết này trong giai đoạn thiết kế. Nên làm giảm chất lượng chế tạo mẫu làm tăng chi phí khắc phục các vấn đề đã nêu trên.

Sự phát triển các phương pháp tính toán động lực học khí động trong những năm gần đây có thể thay thế một phần đáng kể các bài thử nghiệm bằng các phép tính nhanh và rẻ có khả năng dự đoán các đặc điểm và kết cấu của dòng chảy trong các cụm chi tiết riêng biệt của động cơ tuabin khí.

Dựa trên những khả năng này nhóm tác giả đã giả định được đưa ra rằng việc lập mô hình CFD đồng thời của các quá trình làm việc được kết nối của tất cả các chi tiết của động cơ tuabin khí sẽ cho phép thu được độ tin cậy cao hơn mô hình phân bố các thông

số dọc theo đường khí động, có xét đến ảnh hưởng lẫn nhau của các cụm chi tiết ngoài ra nó còn cho phép đánh giá các tác động của các yếu tố bên ngoài và bên trong về đặc tính của động cơ tuabin khí và các mô hình hoạt động chung của nó cũng như để mô phỏng sự thay đổi các thông số của động cơ khi thay đổi điều kiện làm việc của nó.

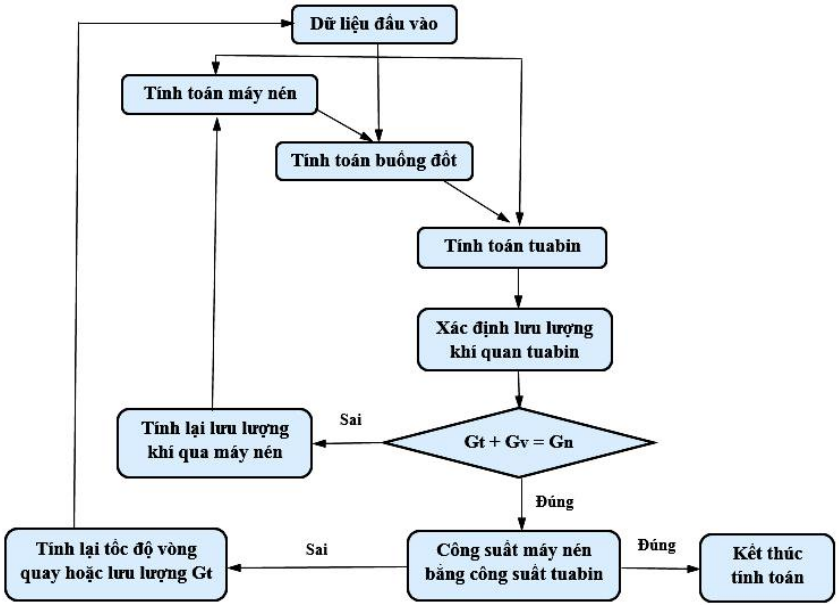
2. CÁC GIẢ THIẾT KHI MÔ PHỎNG TÍNH TOÁN BẰNG ANSYS VÀ ASTRA

Như đã biết, đối với một động cơ tuabin khí hoạt động ở trạng thái dừng, ba định luật bảo toàn phải được đáp ứng đó là định luật bảo toàn khối lượng, công suất và tốc độ rôto [1]. Vì lý do này, trong mô hình CFD của quá trình làm việc trong động cơ tuabin khí phải đảm bảo các các quy luật cơ bản sau đây:

- Tốc độ dòng chảy khối lượng của chất lỏng làm việc tại ranh giới của các khu vực thiết kế liền kề phải giống nhau;
- Giá trị của tổng khối lượng trung bình entanpi của dòng chảy tại ranh giới của các vùng thiết kế liền kề phải được giữ không đổi;
- Các giá trị của áp suất, nhiệt độ và tốc độ, cũng như sự phân bố của chúng tại ranh giới các khu thiết kế phải trùng nhau;
- Tốc độ quay của máy nén và rôto tuabin phải trùng nhau;
- Công suất (mômen) trên rôto của mô hình máy nén và tuabin phải trùng nhau ở mọi điều kiện ổn định.

Các tác giả đã đưa ra hai cách tiếp cận để lập mô hình CFD của một quá trình làm việc trong động cơ tuabin phản lực [3]:

- Cách 1: Sử dụng một số chương trình chuyên biệt, mỗi chương trình phù hợp nhất để mô tả qúa trình làm việc của một bộ phận riêng biệt của động cơ (như máy nén, buồng đốt, tuabin, loa phụt);
- Cách 2: Sử dụng trong một chương trình duy nhất cho phép lập mô hình đồng thời các quá trình cùng một lúc của cả khối động cơ.

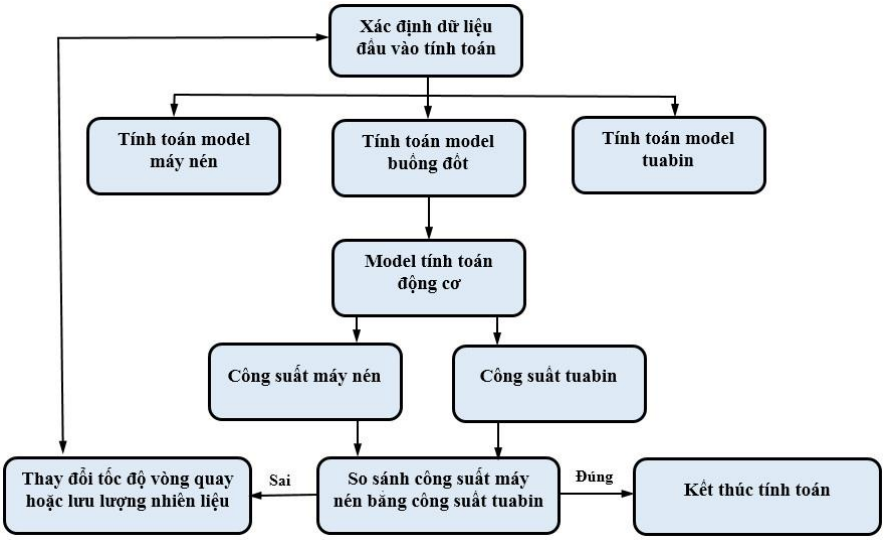


Hình 2. *Trình tự tính toán sự ảnh hưởng lên nhau của các bộ phân trong quá trình làm việc trong động cơ khi sử dụng các chương trình chuyên biệt.*

Cách tiếp cận đầu tiên cho phép bạn tính toán quy trình làm việc tại mỗi bộ phân trong chương trình phù hợp nhất với cài đặt mô hình và bộ giải tối ưu và sử dụng các mô hình vật lý thích phù hợp nhất. Điều này đảm bảo mô hình hóa các quy trình tốt hơn và yêu cầu ít tài nguyên tính toán hơn, vì các phần tử của động cơ được tính toán riêng biệt. Nhược điểm của phương pháp này là cần tổ chức trao đổi dữ liệu giữa các bộ phận, mà được mô hình hóa trong các chương trình khác nhau, điều này phức tạp do chúng thường sử dụng các định dạng khác nhau để mô tả dữ liệu đầu vào/đầu ra và các tính chất của đối tượng hoạt động. Ngoài ra, một bất lợi khác là ảnh hưởng một chiều của các tham số của phần tử đến nút được phân bố phía dưới. Để mô phỏng chính thức quá trình làm việc trong động cơ trong các chương trình khác nhau, cần phải tổ chức một loạt các phép tính lặp đi lặp lại với sự tinh chỉnh lặp lại các điều kiện biên [3].

Cách tiếp cận thứ hai không có những nhược điểm này. Trong một gói phần mềm CFD chung duy nhất, một mô hình tính toán được tạo, bao gồm một số nút và trao đổi dữ liệu giữa chúng được tổ chức dễ dàng bằng cách sử dụng các công cụ tiêu chuẩn của chương trình. Tuy nhiên, trong trường hợp này, cài đặt mô hình và đôi khi không tối ưu cho mỗi nút [4].

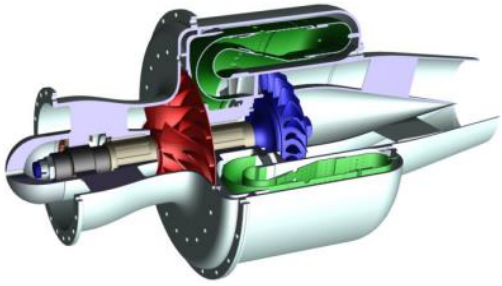
Một trong những vấn đề chính trong việc lập mô hình động cơ là rằng các chương trình CFD không cung cấp các phương tiện tiêu chuẩn để tự động đảm bảo cân bằng công suất trên rôto của động cơ tuabin khí. Vì lý do này, cần thiết, một cách độc lập, thủ công hoặc sử dụng một chương trình con thực hiện thuật toán điều khiển, để đạt được sự cân bằng về công suất của máy nén và tuabin bằng cách hiệu chỉnh mức tiêu thụ nhiên liệu hoặc tốc độ rôto. Lựa chọn của phương pháp hiệu chỉnh mô phỏng được xác định bởi tùy chọn mô phỏng (mô phỏng hoạt động của hệ thống điều khiển động cơ): cố định lưu lượng nhiên liệu khi thay đổi tốc độ vòng quay hoặc cố định vòng quay khi thay đổi lưu lượng nhiên liệu.



Hình 3. *Trình tự tính toán sự ảnh hưởng lên nhau của các bộ phận trong quá trình làm việc động cơ khi sử dụng trong một chương trình.*

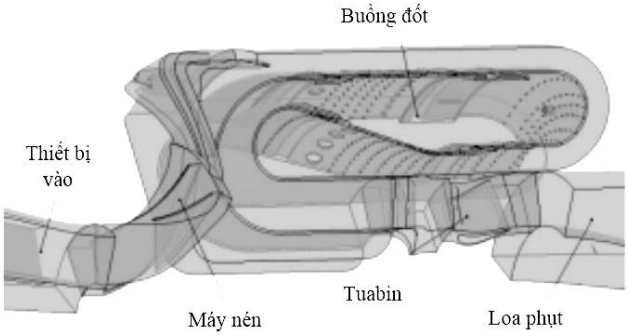
Các tham số cơ bản của động cơ dùng để nghiên cứu (đây là động cơ đã được thiết kế chế tạo tại viện tên lửa do phòng động cơ tuabin phản lực nghiên cứu thiết kế và chế tạo) hình 4. Động cơ này có các thông số đặc trưng sau:

- Tỷ số nén, πκ * = 4,5;
- Nhiệt độ của khí ở phía trước tuabin, Tg * = 1100 K;
- Lưu lượng không khí Gв = 0,756 kg / s;
- Lưu lượng nhiên liệu G_t = 0,013 kg / s;
- Tốc độ vòng quay rôto n = 72600 phút
- Đường kính ngoài của bánh máy nén D2κ = 135 mm;
- Đường kính ngoài của bánh tuabin D2t = 116 mm.



Hình 4. *Mô hình động cơ tuabin cỡ nhỏ.*

Việc mô phỏng quá trình làm việc của động cơ được thực hiện bằng phần mềm ANSYS CFX, thực hiện theo sơ đồ mô tả ở hình 3. Mô hình tính toán bao gồm các mô hình lưới được chuẩn bị trước của thiết bị đầu vào, nén ly tâm, bộ khuếch tán, buồng đốt, tầng chỉnh dòng tuabin, tầng tuabin làm việc và loa phụt. Mô hình đã không tính sự tổn thất chất lỏng hoạt động và bỏ qua sự truyền nhiệt giữa dòng chảy và thành của đường dẫn dòng.



Hình 5. *Mặt cắt ngoài của mô hình tính toán động cơ.*

Quá trình đốt cháy được mô phỏng bằng cách sử dụng mô hình tiêu tán xoáy (Eddy Dissipation), dựa trên giả định rằng phản ứng hóa học diễn ra nhanh hơn nhiều so với các quá trình chuyển giao trong dòng chảy. Sau khi nhiên liệu và không khí được trộn lẫn, chúng ngay lập tức tạo thành các sản phẩm phản ứng hóa học. Phản ứng cháy cháy dựa vào phương trình phản ứng hóa học sau:

$$\text{Jet A} + 17{,}75\ O_2 = 12\ CO_2 + 11{,}5\ H_2O + Q$$

Áp dụng các điều kiện biên sau đối với mô hình động cơ:

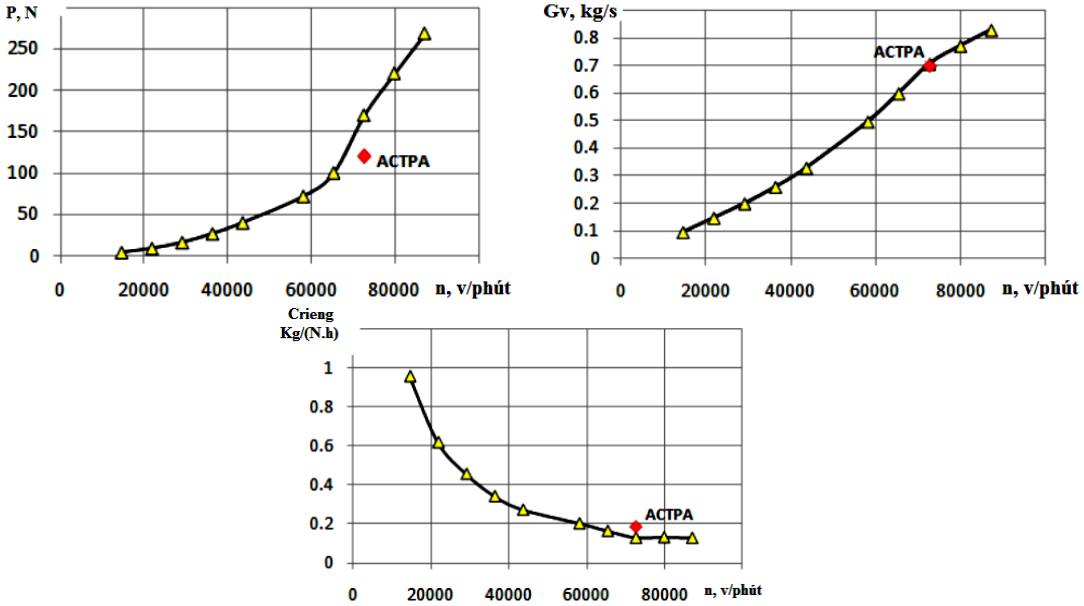
- Ở cửa vào của thiết bị vào – áp suất toàn phần và nhiệt độ là của hướng dòng chảy trực giao;
- Áp suất ở cửa ra của loa phụt là áp suất tĩnh;
- Tốc độ vòng quay của máy nén và tuabin là một;
- Lưu lượng nhiên liệu vào buồng đốt ở dạng khí.

Ở giai đoạn đầu tiên, dòng chảy thu được trong động cơ mà không có nhiên liệu đốt cháy trong buồng đốt. Sau đó, giải pháp này được sử dụng để khởi tạo tính toán của quá trình có tính đến quá trình đốt cháy.

3. KẾT QUẢ TÍNH TOÁN

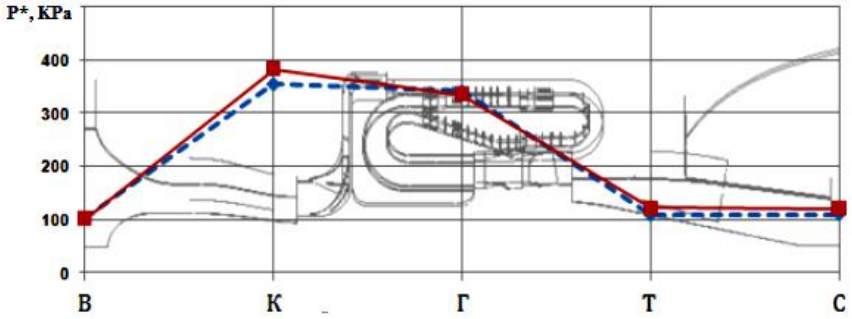
Mô hình được mô tả ở trên được sử dụng để tính toán đặc tính tiết lưu của động cơ

tuabin phản lực trong điều kiện khí quyển tiêu chuẩn. Kết quả của việc tính toán, thu được sự phụ thuộc của lực đẩy P, lưu lượng khí qua động cơ Gv và suất tiêu hao nhiên liệu cụ thể Crieng, được trình bày trong hình 6.



Hình 6. *Đặc tính hoạt động của động cơ.*

Quá trình làm việc của cùng một động cơ tuabin phản lực chế độ bay được sử dụng bằng mô hình nhiệt động khí động được tạo trong chương trình ASTRA [3]. Chương trình này cho phép bạn đánh giá các tham số của động cơ dựa trên các định luật bảo toàn và phân tích chu trình nhiệt động lực học động cơ [4]. Các giá trị của hệ số tổn thất và hiệu suất của các nút trong tính toán nhiệt động lực học được lấy bằng các hệ số được tính bằng cách sử dụng CFD model.

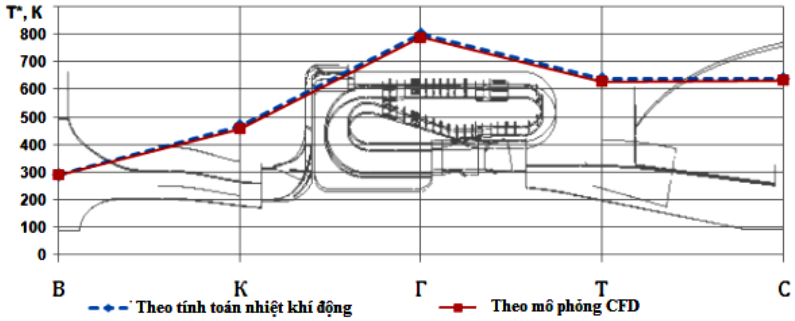


Hình 7. *Sự biến đổi áp suất toàn phần theo dòng chảy.*

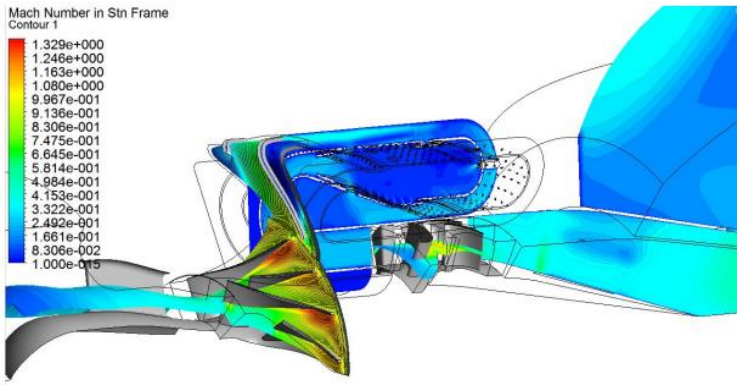
Kết quả tính toán nhiệt động lực học trong chương trình ASTRA được chỉ ra trên hình 6. So sánh kết quả của phép tính nhiệt động lực học với dữ liệu của phép tính CFD chúng ta có thể kết luận rằng kết quả khá tương đồng với nhau. Chênh lệch giữa các kết quả thu được bằng các phương pháp khác nhau không vượt quá 7%. Trên hình 8 cho thấy các biểu đồ của sự thay đổi áp suất toàn phần và nhiệt độ dọc theo dòng chảy, thu được bằng cách sử dụng các mô hình nhiệt động lực học và CFD.

Từ đó chúng ta có thể kết luận rằng kết quả của phép tính CFD không mâu thuẫn với lý thuyết làm việc của động cơ tuabin phản lực và mô hình đó có thể được sử dụng để

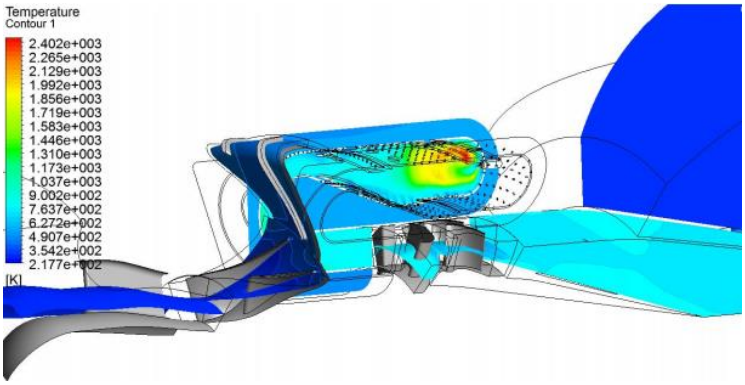
tính toán các tham số của nó và mô phỏng trong trong các điều kiện khác nhau. Tuy nhiên, so với mô hình nhiệt động lực học cho phép bạn giải quyết các vấn đề tương tự, mô hình số đầu cuối của quá trình làm việc trong động cơ cho phép bạn tìm giá trị của các thông số lưu lượng tại tất cả các điểm của miền tính toán, và không chỉ trong các điểm kiểm tra (hình 9, hình 10). Ngoài ra, mô hình CFD cho phép tính đến ảnh hưởng của bất kỳ thông số hình học nào đến các đặc tính của động cơ.



Hình 8. *Sự biến đổi Nhiệt độ theo dòng chảy động cơ.*



Hình 9. *Sự phân bố chỉ số Max trong động cơ ở chế độ bay.*



Hình 10. *Sự phân bố nhiệt độ trong động cơ ở chế độ bay.*

4. KẾT LUẬN

Bài báo đã trình bày trình tự các bước của một hướng tính toán động cơ khi ứng dụng các phần mềm như ansys và astra. Kết quả tính toán đã chỉ ra rằng với việc sử dụng mô hình tính toán trên các phần mềm ansys và astra phù hợp với bản chất chất vật lý và lý thuyết tính toán nhiệt khí động cơ. Kết quả tính toán sai lệch không quá 7% so với mô

hình tính toán lý thuyết. Tuy nhiên, trong quá trình tính toán còn sử dụng các giả định. Quá trình sử dụng và khởi tạo phần mềm Astra còn gặp nhiều khó khăn. Mặc dù vậy, từ kết quả mô phỏng quá trình làm việc của động cơ tuabin khí cho ta thấy hướng đi có nhiều triển vọng vì nó cho phép bạn mô phỏng ảnh hưởng lẫn nhau các bộ phận động cơ lên nhau và kiểm tra sự tác động của bất kỳ điều kiện hoạt động nào cũng như thay đổi hình dạng của các phần tử đường dẫn dòng chảy trên các đặc tính của động cơ tuabin khí và tất cả các chi tiết thành phần của nó. Từ đó, giúp chúng ta rút gọn được quá trình thiết kế, giảm chi phí chế tạo mẫu và thử nghiệm động cơ.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1]. Ладошин А.М. Яковлев В.М*, "Расчет и проектирование центробежного компрессора ГТД",* МГТУ им Баумана, 2008.

[2]. Холщевников К.В*, "Теория и расчет авиационных лопаточных машин"*. "Машиностроение", 1970.

[3]. Кузьмичев, В.С. *Методы и средства концептуального проектирования авиационных ГТД в CAE-системе «АСТРА»* [Текст] / В.С. Кузьмичев, А.Ю. Ткаченко, В.Н. Рыбаков, И.Н. Крупенич, В.В. Кулагин// Вестник Самарского государственного аэрокосмического университет имени акад. С.П. Королева (национального исследовательского университета). - 2012. - №5(36). Ч.1. - С. 169- 173.

[4]. Кулагин, В.В. *"Теория расчет и проектирование авиационных двигателей и энергетических установок: Учебник"*. Основы теории ГТД. Рабочий процесс и термогазодинамический анализ. Кн.1. Совместная работа узлов выполненного двигателя и его характеристики. Кн.2. [Текст]/ В.В. Кулагин – М.: Машиностроение, 2002. – 616 с.

[5]. Báo cáo tổng kết đề tài cấp Viện tên lửa, Năm 2016 chủ nhiệm đề tài Mai Duy Phương.

ABSTRACT

APPLICATION OF ANSYS AND ASTRA SOFTWARE IN CALCULATION AND SIMULATION OF SMALL JET TURBINE ENGINE EQUIPPED ON UNMANNED AERIAL VEHICLE

In the article, the method of using some software such as ansys, astra in calculating and simulating the operation of small turbojet engines is presented. By using ansys and astra software, we can simulate the flow in the motor, and at the same time determine the influence of geometrical dimensions of different parts on the flow in the motor. Calculation results help shorten the design process, optimize calculation results, and reduce the cost of prototyping and engine testing.

Keywords: Jet turbine engine; Jet engine.

Nhận bài ngày 16 tháng 6 năm 2021
Hoàn thiện ngày 23 tháng 8 năm 2021
Chấp nhận đăng ngày 24 tháng 9 năm 2021

Địa chỉ: [1]Viện Tên lửa, Viện Khoa học và Công nghệ quân sự;
[2]Đại học Hàng không Mátxcơva, Liên bang Nga.
[*]Email: dquanggiang@gmail.com.