KHẢO SÁT CÁC PHƯƠNG ÁN BỐ TRÍ HỆ THỐNG BƠM NHIÊN LIỆU CỦA ĐỘNG CƠ PHẢN LỰC NHIÊN LIỆU LỎNG LÀM VIỆC THEO VÒNG KHÉP KÍN

Nguyễn Hanh Hoàn*

Tóm tắt: *Kết cấu sử dụng hệ thống bơm nhiên liệu làm việc theo vòng kín là kiểu phức tạp và hiệu quả nhất trong các hệ thống động cơ phản lực nhiên liệu lỏng. Trong đó, hỗn hợp khí phức tạp từ bình ôxy hoá hai vùng cháy – trộn đóng vai trò chất công tác duy trì tốc độ quay cho Tuabin động cơ. Bài báo trình bày khảo sát hiệu quả bố trí hệ thống bơm nhiên liệu thông qua tối ưu hoá nhiệt độ chất công tác làm quay cánh Tuabin.*

Từ khóa: Động cơ phản lực nhiên liệu lỏng; Xung lực riêng.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Với chức năng tạo lực đẩy, nguyên lý hoạt động của động cơ phản lực nhiên liệu lỏng (ĐTL) là đưa nhiên liệu đến và đốt cháy tại buồng đốt, luồng khí thoát ra với tốc độ lớn tạo lực đẩy cho ĐTL. Trong buồng đốt, nhiên liệu cháy ở nhiệt độ rất cao (từ 3000 – 4500 K), dưới áp suất lớn (từ 10 – 40 Mpa), tốc độ dòng sản phẩm cháy 3000 – 5000 m/s. Xung lực riêng phụ thuộc rất lớn vào áp suất tại buồng đốt động cơ [1].

Mặt khác, khối lượng của khoang nhiên liệu và áp suất trong buồng đốt của ĐTL có tỷ lệ thuận, với ĐTL sử dụng hệ thống bơm cấp nhiên liệu, mối quan hệ này không ảnh hưởng: áp suất tại cửa vào hệ thống bơm nhỏ, còn tại cửa ra áp suất lớn hơn từ vài chục đến hàng trăm lần, tính chất này đảm bảo cho buồng đốt của ĐTL có áp suất lớn. Do vậy, đối với các tầng 1, 2, 3 của tên lửa đẩy và các tầng hành trình của thiết bị bay người ta chọn sử dụng ĐTL có hệ thống bơm cấp nhiên liệu đảm bảo được độ lớn xung lực, kết cấu nhẹ hơn.

ĐTL sử dụng hệ thống bơm nhiên liệu phân làm 2 loại: loại làm việc theo sơ đồ vòng hở (chất khí làm quay tuabin được thải ra môi trường) và loại làm việc theo sơ đồ vòng kín (chất khí làm quay tuabin tiếp tục đi vào khối đầu trộn buồng đốt động cơ, tác dụng với nhiên liệu còn lại, cháy hoàn toàn tạo lực đẩy cho động cơ. Thực tế cho thấy, ĐTL với sơ đòo làm việc vòng kín là loại hiện đại và hiệu quả nhất hiện nay trên tiêu chí lực đẩy, hiệu quả làm việc và trên hết là giá thành sản phẩm.

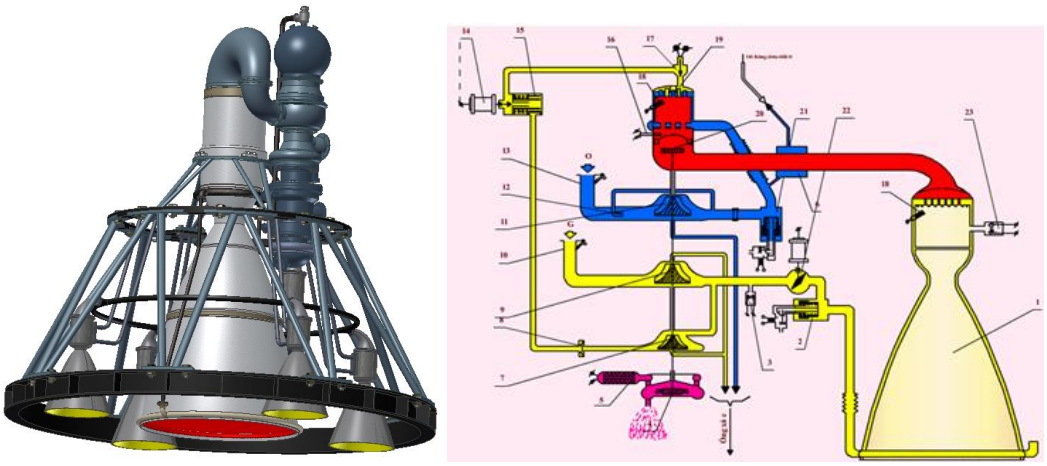
Trong bài báo này, tác giả trình bày kết quả khảo sát các phương án bố trí kết cấu sơ bộ hệ thống bơm nhiên liệu với ĐTL có vòng kín nhằm tối ưu hoá nhiệt độ chất công tác làm quay cụm tuabin của ĐTL.

2. KHẢO SÁT HIỆU QUẢ CÁC PHƯƠNG ÁN BỐ TRÍ HỆ THỐNG BƠM NHIÊN LIỆU TRONG ĐTL LÀM VIỆC THEO VÒNG KÍN

2.1. Tổng quan về ĐTL làm việc theo vòng kín

Trên hình 1 mô tả về nguyên lý ĐTL có hệ thống bơm nhiên liệu làm việc theo vòng kín. Chất đốt (G) và chất ôxy hoá (O) được bơm nhiên liệu đẩy vào buồng đốt với áp suất cao. Trong buồng đốt xảy ra phản ứng cháy tạo ra khí cháy với nhiệt độ và áp suất cao. Khí cháy này được tăng tốc độ trong loa phụt lên đến vài nghìn m/s và sinh ra lực đẩy phản lực [2].

Điểm đặc biệt, là bình ôxy hoá gg tạo khí làm quay cánh tuabin của hệ thống bơm, sau đó hỗn hợp khí này đi vào buồng đốt động cơ tạo lực đẩy. Nhiệt độ chất khí công tác từ gg phải trong khoảng 700-1000K đảm bảo cho tuabin hoạt động thời gian dài [4].



Hình 1. *Sơ đồ thuỷ khí ĐTL theo vòng kín.*

2.2. Khảo sát các phương án bố trí hệ thống bơm nhiên liệu

Cho đến nay [1, 4], ĐTL làm việc trên cặp nhiên liệu Hyđrô lỏng và Ôxy lỏng tạo được xung lực riêng lớn nhất. Tốc độ dòng khí phản lực đạt gần 4000 m/s. Nhiệt độ dòng khí khoảng 3000 ^{o}C. Tuy nhiên, cặp nhiên liệu này rất dễ gây cháy nổ, nếu chúng tiếp xúc ở nhiệt độ thường đã gây ra phản ứng hoá học. Vì vậy, mức độ an toàn trong sử dụng là điều đáng quan tâm.

Nhóm tác giả bài báo đã thay thế khảo sát cặp nhiên liệu thân thiện với môi trường, khảo sát ĐTL mẫu, sử dụng cho tầng 1 của tên lửa đẩy mẫu của Việt Nam [3].

Cặp nhiên liệu:

Chất O: AK27I ;

Chất G: Kerosin TC1

Thông số về lựa đẩy: P= 685,7 kH

Thời gian làm việc: 162,5 s

Áp suất trong buồng đốt: 16 MPa

Áp suất tại cửa ra của loa phụt: 0,065 MPa

Qua kết quả thiết kế hệ thống, xác định các thông số đầu vào của hệ thống bơm nhiên liệu (xem bảng 1). Tính toán nhiệt độ hỗn hợp chất khí T_T bằng phương pháp cân bằng công suất hệ thống bơm nhiên liệu:

$$N_{b.G1}+N_{b.G2}+N_{b.O1}+N_{b.O2}=\frac{\dot{m}_{G1}(p_{b.G1}-p_{G1})}{\rho_G\eta_{b.G1}}+\frac{\dot{m}_{G2}(p_{b.G2}-p_{G2})}{\rho_G\eta_{b.G2}}+\frac{\dot{m}_{O1}(p_{b.O1}-p_{O1})}{\rho_O\eta_{b.O1}}+$$
$$+\frac{\dot{m}_{O2}(p_{b.O2}-p_{O2})}{\rho_O\eta_{b.O2}}=N_T=\dot{m}_T L_{ag}\eta_T \quad (1)$$

Trong đó: $N_{b.G1}, N_{b.O1}, N_{b.G2}, N_{b.O2}$ - Công suất các bơm chất G, chất O; $\dot{m}_{G1}, \dot{m}_{G2}$, $\dot{m}_{O1}, \dot{m}_{O2}$ - Lưu lượng chất G, O qua các bơm; ρ_G, ρ_O - Mật độ chất G, chất O; $\eta_{b.G1}, \eta_{b.G2}$, $\eta_{b.O1}, \eta_{b.O2}$ - Hệ số hiệu dụng của bơm G, bơm O; $p_{b.G1}, p_{b.G2}, p_{b.O1}, p_{b.O2}$, $p_{G1}, p_{G2}, p_{O1}, p_{O2}$ - Áp suất tại cửa ra và áp suất cửa vào bơm G, O; N_T - Công suất có ích của tuabin; $\dot{m}_T, L_{ag}, \eta_T$ - Lưu lượng chất công tác, công đoạn nhiệt và hệ số hiệu dụng của tuabin.

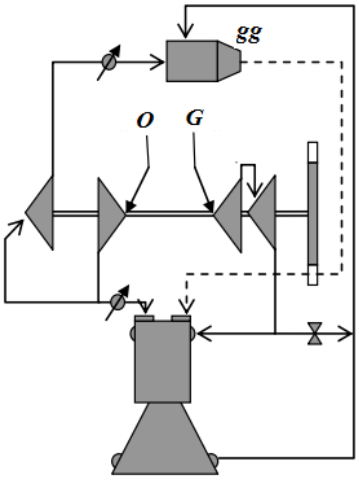
Công đoạn nhiệt chất công tác (từ bình gg) làm quay cánh tuabin.

$$L_{ag} = \frac{k}{k-1} R_T T_T \left[1 - \left(\frac{p_{T2}}{p_{T1}} \right)^{\frac{k-1}{k}} \right] \quad (2)$$

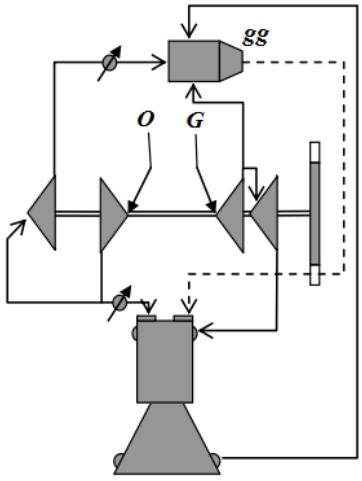
Trong đó: R_T, T_T - Hằng số khí và nhiệt độ chất khí đi qua cánh tuabin, p_{T2}, p_{T1} - Áp suất cửa ra và cửa vào tuabin.

Bảng 1. *Thông số đầu vào hệ thống bơm nhiên liệu ĐTL [3].*

STT	Thông số	Giá trị
1	Áp suất trong buồng đốt động cơ,P_K, MPa	16
2	Tỷ số trộn nhiên liệu trong buồng đốt, K_m	4,9
3	Hệ số làm việc hiệu dụng bơm O_1	0,75
4	Hệ số làm việc hiệu dụng bơm O_2	0,62
5	Hệ số làm việc hiệu dụng bơm G_1	0,66
6	Hệ số làm việc hiệu dụng bơm G_1	0,66
7	Hệ số làm việc hiệu dụng tuabin	0,82
8	Hệ số lưu lượng đi vào bơm O_1	1,2
9	Hệ số lưu lượng đi vào bơm G_1	1,2
10	Tỷ lệ áp suất tuabin	1,85
11	Sụt áp do nhiên liệu chảy qua kênh làm mát buồng đốt,MPa	6,5
12	Sụt áp do nhiên liệu qua hệ thống kim phun của buồng đốt chính, MPa	1,5
13	Sụt áp do nhiên liệu qua hệ thống kim phun của bình oxy hoá **gg**, MPa	8
14	Sụt áp do hệ thống hiệu chỉnh lực đẩy, MPa	1,1
15	Sụt áp hệ thống tự động điều chỉnh áp bình nhiên liệu, MPa	7
16	Phần trăm nhiên liệu đi vào kênh làm mát (so với tổng nhiên liệu G), %	40-50



Hình 2. *Sơ đồ vòng kín, bình* ***gg*** *dư chất G, trước khi khởi động ĐTL một phần chất G đi qua kênh làm mát buồng đốt, bơm O,G 2 tầng.*

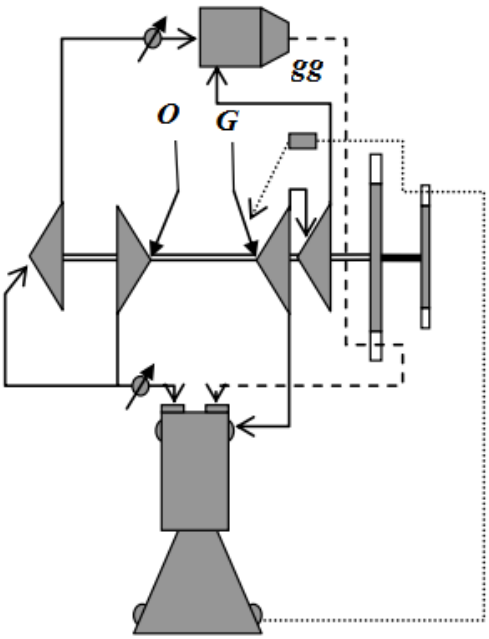


Hình 3. *Sơ đồ vòng kín, bình gg dư chất G, tại cửa ra bơm G tầng 1, phần lớn chất G đi vào bình* ***gg****, bơm O,G 2 tầng.*

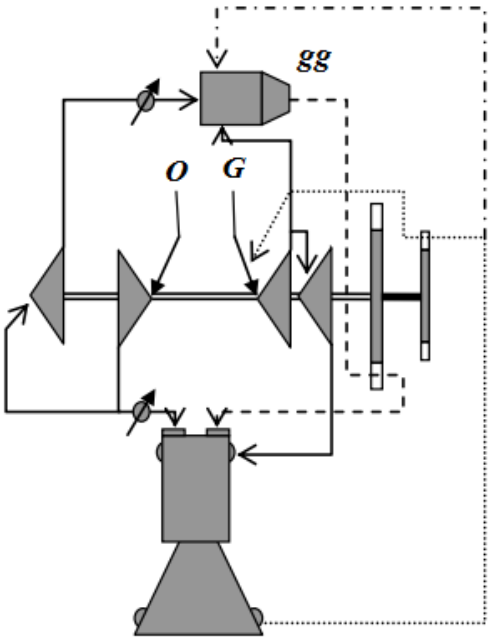
Ta có phương trình tìm nhiệt độ chất khí làm quay tuabin T_T:

$$N_{b.G1} + N_{b.G2} + N_{b.O1} + N_{b.O2} = \frac{k}{k-1} R_T T_T \dot{m}_T \eta_T \left[1 - \left(\frac{p_{T2}}{p_{T1}} \right)^{\frac{k-1}{k}} \right] \quad (3)$$

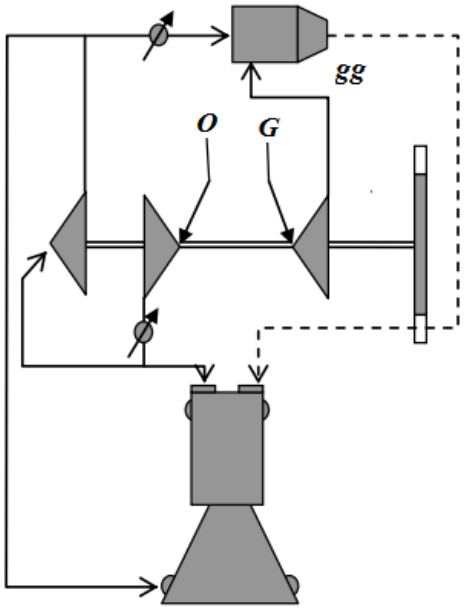
Lựa chọn 6 kiểu phối trí kết cấu hệ thống bơm nhiên liệu (hình 2 đến hình 7).



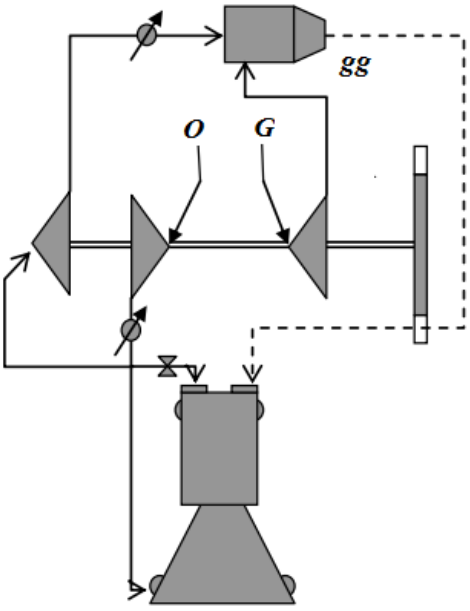
Hình 4. *Sơ đồ vòng kín, bình* ***gg*** *dư chất G, bơm O,G 2 tầng, một phần chất G sau bơm tầng 1 đi vào kênh làm mát buồng đốt, sau đó làm quay tuabin phụ, qua thiết bị gia nhiệt quay lại cửa vào bơm G1.*



Hình 5. *Sơ đồ vòng kín, bình* ***gg*** *dư chất G, bơm O,G 2 tầng, một phần chất G sau bơm tầng 2 đi vào kênh làm mát buồng đốt, sau đó làm quay tuabin phụ quay lại cửa vào bơm G1 (15% lưu lượng, 85% đi vào* ***gg****).*



Hình 6. *Sơ đồ vòng kín, bình gg dư chất G, bơm O 2 tầng, bơm G 1 tầng, một phần chất O tại cửa ra bơm O2 đi vào kênh làm mát.*



Hình 7. *Sơ đồ vòng kín, bình gg dư chất G, bơm O 2 tầng, bơm G 1 tầng, một phần chất O tại cửa ra bơm O1 đi vào kênh làm mát.*

Tính toán sơ bộ nhiệt độ chất khí công tác làm quay tuabin T_T đối với 6 phương án bố trí kết cấu hệ thống bơm nhiên liệu. Kết quả được trình bày trên bảng 2.

Bảng 2. *Nhiệt độ chất công tác làm quay Tuabin T_T.*

STT	Sơ đồ vòng kín ĐTL	Nhiệt độ chất công tác Tuabin T_T, K
1	Sơ đồ hình 2	971
2	Sơ đồ hình 3	892
3	Sơ đồ hình 4	714
4	Sơ đồ hình 5	853
5	Sơ đồ hình 6	925
6	Sơ đồ hình 7	987

Nhận xét:

- Tất cả các phương án bố trí đều cho nhiệt độ chất khí công tác nhỏ hơn 1000K.
- Chất khí công tác làm quay tuabin chính của động cơ có nhiệt độ nhỏ nhất đối với sơ đồ hình 4 –Kiểu ĐTL có Sơ đồ vòng kín, bình gg dư chất G, các bơm chất O, chất G đều 2 tầng, một phần chất G sau bơm tầng 1 đi vào kênh làm mát buồng đốt, sau đó làm quay tuabin phụ, qua thiết bị gia nhiệt quay lại cửa vào bơm G1. Tuy nhiên, để hiện thực hoá phương án này, công nghệ chế tạo thiết bị gia nhiệt với hiệu suất cao cực kỳ phức tạp, đòi hỏi chi phí rất lớn. Ảnh hưởng đến giá thành sản phẩm.
- Xét cả về mặt kết cấu, công nghệ chế tạo, đặc biệt tối ưu nhiệt độ chất côngtác làm quay tua bin chính động cơ, thì sơ đồ phù hợp là sơ đồ trên hình 3 – kiểu ĐTL có sơ đồ vòng kín, bình gg dư chất G, tại cửa ra bơm G tầng 1, phần lớn chất G đi vào bình gg, các bơm chất O, chất G đều có cấu tạo 2 tầng.

3. KẾT LUẬN

Với hàng loạt các ưu điểm như tối ưu hoá năng lượng sử dụng, hiệu quả cao và đặc biệt chất khí công tác từ bình ôxy hoá làm quay cánh tuabin chính của ĐTL có nhiệt độ phù hợp (từ 700K đến 1000K) đảm bảo tuabin làm việc tốt trong thời gian dài, kiểu sơ đồ thuỷ khí ĐTL theo vòng kín là phương án tối ưu.

Bài báo trình bày phương pháp luận một cách lựa chọn bố trí kết cấu ĐTL làm việc theo vòng kín trên tiêu chí tối ưu hoá nhiệt độ chất khí công tác làm quay cánh tuabin, các kết quả này làm cơ sở cho thiết kế các ĐTL hiện đại.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1]. М.В. Добровольский, "*Жидкостные ракетные двигатели*", Изд. МГТУ им.Н.Э. Баумана, 2005, 486 с

[2]. Nguyen Hanh Hoan, "*The research of designing principle and technology of manufacturing a booster liquid rocket engine to serve the program of national space science and technology"*, Space science and technology program VN, 2011.

[3]. Lê Kỳ Biên, *"Thiết kế sơ bộ tên lửa đẩy nhiên liệu lỏng"*, Báo cáo đề tài cấp nhà nước thuộc chương trình khoa học và công nghệ vũ trụ, 2011.

[4]. Nguyen Hanh Hoan, "*The gas generator with two zones of fire - mixed complex in the liquid fuel jet engine*", International Conference of Fluid Machinery and Automation Systems, 2018.

ABSTRACT

INVESTIGATING OF PLANTS OF FUEL PUMP SYSTEM OF LIQUID FUEL JET ENGINE THAT WORKING UNDER COUPLING ROUNDS

Construction using that working closed loop fuel pump systems are the most complex and efficient of ligquid fuel jet engine systems. In which, the complex gas mixture from 2 oxidation – mix fire tanks acts as a speed maintenance agent for the tubine engine. This paper presents investiating of plants of fuel pump system by the creteria of optimizing the substance temperature that turning turbine blades.

Keywords: Liquid fuel jet engine; Fuel pump system; Oxidizing tank.

Nhận bài ngày 15 tháng 4 năm 2021
Hoàn thiện ngày 05 tháng 8 năm 2021
Chấp nhận đăng ngày 05 tháng 9 năm 2021

Địa chỉ: Viện Tên lửa, Viện KHCNQS.
*Email: hanhhoanvtl@gmail.com.