HỆ THỐNG PHÁT ĐIỆN TUABIN KẾT HỢP VỚI NĂNG LƯỢNG NHIỆT HẠCH

COMBINATION OF GAS/STEAM TURBINE POWER CYCLE AND FUSION ENERGY

Lê Chí Kiên, Lê Kim Long
Trường Đại Học Sư Phạm Kỹ Thuật TP.HCM

TÓM TẮT

Điện năng được sản xuất ra từ các nhà máy điện sử dụng các nguồn nhiên liệu hóa thạch (than, dầu, khí đốt…) hoặc năng lượng mới: năng lượng tái tạo (gió, mặt trời, sinh khối, sóng biển…), năng lượng nguyên tử. Các nhà máy điện tuabin khí, tuabin hơi sử dụng nhiên liệu hóa thạch là những loại được sử dụng chủ yếu trên thế giới nhưng có nhiều nhược điểm: ô nhiễm môi trường, giá nhiên liệu cao và đang dần cạn kiệt… .Do đó, có rất nhiều nghiên cứu được đưa ra nhằm khắc phục những nhược điểm trên. Trong bài báo này, tác giả đề cập về "Hệ thống phát điện tuabin kết hợp với năng lượng nhiệt hạch" có hiệu suất cao, giảm ô nhiễm môi trường, chi phí thấp, hạn chế sử dụng nhiên liệu hóa thạch.

ABSTRACT

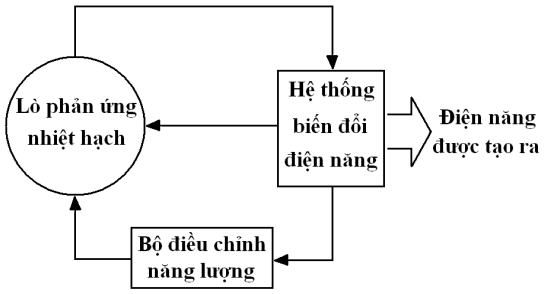
Electrical power is produced from power plants which uses fossil fuels (coal, oil, gas etc.) or new energies such as wind, solar, biomass, nuclear energy etc. Gas turbine, stream turbine power plants which use fossil fuels, are very popular but they have some disadvantages: CO2 emissions, high fuel cost and exhaustion etc. So, many studies are proposed to improve cons. This paper will present a combination of gas/steam turbine power cycle and fusion energy, which has high efficiency, low CO2 emissions, low fuel cost and save fossil fuels.

I. GIỚI THIỆU

Các thành phần chính của hệ thống phát điện tuabin kết hợp với năng lượng nhiệt hạch gồm: Bộ điều chỉnh năng lượng, lò phản ứng nhiệt hạch, hệ thống biến đổi điện năng (hệ thống tuabin khí – hơi) [5] được biểu diễn như hình 1.

Chu trình vận hành có thể được mô tả như sau [3,5]:

- Chùm tia lazer hay chùm tia ion từ bộ điều chỉnh năng lượng được bắn vào trong lò phản ứng.
- Tại lò phản ứng nhiệt hạch, hạt được gia nhiệt và được nén đến nhiệt độ bốc cháy và sau đó các phản ứng nhiệt hạch xảy ra.
- Năng lượng hạt nhân (năng lượng nhiệt hạch) thu được từ các phản ứng được chuyển tới hệ thống phát điện để tạo ra điện.
- Một phần điện năng được tạo ra sẽ được cấp ngược trở về bộ điều chỉnh năng lượng để tiếp tục chu kỳ vận hành, phần năng lượng dư sẽ được thải ra ngoài.



Hình 1: Chu trình phát điện của hệ thống tuabin khí – hơi – nhiệt hạch.

1.1. Lò phản ứng nhiệt hạch

Phản ứng nhiệt hạch chúng ta xét ở đây là phản ứng D–T [5]. 70% năng lượng từ phản ứng này được tạo ra bởi động năng của các nơtron và được lớp ngoài hấp thu, 30% còn lại là do tia X và các hạt tích điện tạo ra và được lớp trong hấp thu (xem hình 2 bên dưới).

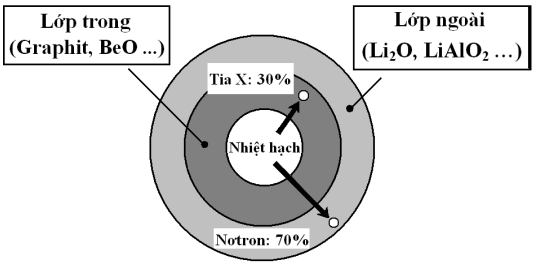
Kết quả là có hai vùng nhiệt độ rõ rệt được hình thành, một vùng có nhiệt độ khoảng 1300 độ K ~ 1700 độ K phát ra từ lớp vỏ ngoài, một vùng khác có nhiệt độ từ 2000 độ K ~ 2400 độ K ở lớp trong [5] và được biểu diễn như hình 3.

Như vậy, từ lớp bên ngoài ta nhận được khí nóng có nhiệt độ từ 1300 ~ 1700 độ K, sau đó khí nóng được đưa vào trong lò phản ứng và ngay tại lớp trong thì khí sẽ được gia nhiệt thêm lần nữa và cuối cùng ta thu được khí nóng có lượng nhiệt hơn 2000 độ K (được biểu diễn như hình 4).

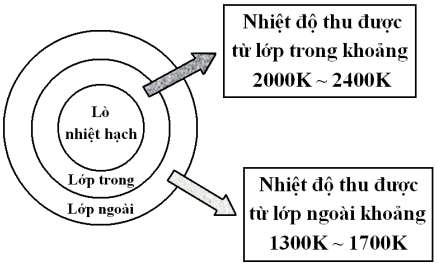
Do đó, các vật liệu cấu tạo nên lớp ngoài chủ yếu là Li_2O hay $LiAlO_2$ … (các hợp chất Li này có nhiệt độ nóng chảy khoảng 1900 K) và các vật liệu cấu tạo nên lớp bên trong có thể là graphit (nhiệt độ nóng chảy khoảng 3500 K) hay BeO…

1.2. Bộ điều chỉnh năng lượng

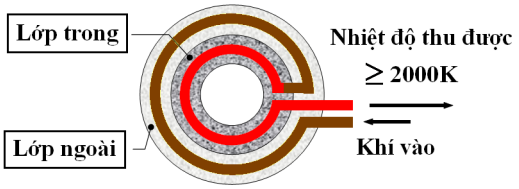
Bộ điều chỉnh năng lượng có chức năng kiểm soát, vận hành và điều khiển lò phản ứng nhiệt hạch một cách hiệu quả. Bộ điều khiển này không những liên kết với lò phản ứng mà còn kết nối với đầu ra máy phát, hệ thống cấp nhiên liệu cho buồng đốt tuabin. Khi có tín hiệu hồi về cần thay đổi công suất máy phát hay cần thay đổi lượng nhiên liệu cấp vào, bộ điều khiển năng lượng này sẽ gửi tín hiệu đến lò phản ứng để kích hoạt quá trình phản ứng nhiệt hạch xảy ra nhiều hay ít sao cho phù hợp với sự thay đổi về công suất hay nhiên liệu mà hệ thống cần cung cấp.



Hình 2: Năng lượng từ phản ứng nhiệt hạch được chứa ở lớp trong và lớp ngoài.



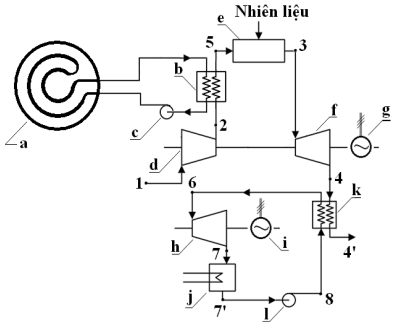
Hình 3: Hai vùng nhiệt độ phát ra từ lớp trong và lớp ngoài.



Hình 4: Sự gia nhiệt khí bởi nhiệt độ của lớp trong và lớp ngoài để có nhiệt độ ra cao.

1.3. Hệ thống phát điện tuabin khí – hơi kết hợp với năng lượng nhiệt hạch

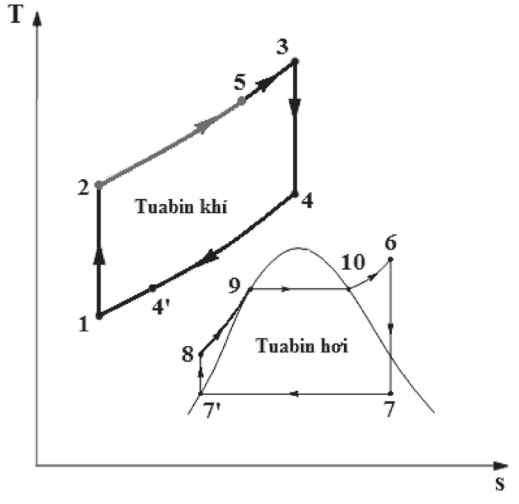
Sơ đồ nguyên lý của hệ thống được biểu diễn như hình 5.



Hình 5: Sơ đồ nguyên lý chu trình tuabin khí – hơi kết hợp năng lượng nhiệt hạch.

Với a: Lò phản ứng nhiệt hạch; b: Bộ trao đổi nhiệt (từ nhiệt hạch sang khí nén); c: Bơm tuần hoàn; d: Máy nén khí; e: Buồng đốt tuabin khí; f: Tuabin khí; g và i: Máy phát điện; k: Bộ trao đổi nhiệt giữa khí thải và nước; h: Tuabin hơi; j: Bình ngưng; l: Bơm nước.

Đồ thị T – s của chu trình được biểu diễn như hình 6



Hình 6: Đồ thị T – s của chu trình khí – hơi – nhiệt hạch.

Với 1-2: Quá trình nén khí của tuabin khí; 2-5: Quá trình khí nén nhận nhiệt đẳng áp từ nhiệt hạch ở bộ trao đổi nhiệt b; 5-3: Quá trình cấp nhiệt đẳng áp từ quá trình cháy của nhiên liệu; 3-4: Quá trình giãn nở đoạn nhiệt sinh công trong tuabin khí để quay máy phát; 4-4’: Quá trình tuabin khí nhả nhiệt đẳng áp để gia nhiệt nước cấp cho tuabin hơi; 4’-1: Quá trình tuabin khí nhả nhiệt đẳng áp ra môi trường; 6-7: Quá trình giãn nở đoạn nhiệt để làm quay máy phát tuabin hơi; 7-7’: Quá trình ngưng hơi hoàn toàn ở bình ngưng; 7’-8: Quá trình nén nước đoạn nhiệt; 8-9-10-6: Quá trình nhận nhiệt đẳng áp của nước từ quá trình nhả nhiệt của tuabin khí.

II. NGUYÊN LÝ CỦA HỆ THỐNG TUABIN KHÍ – HƠI – NHIỆT HẠCH

Theo hình 6, nguyên lý của hệ thống như sau: Không khí sau khi nén đến áp suất cần thiết (quá trình 1-2), được đưa vào bộ trao đổi nhiệt để thực hiện quá trình nhận nhiệt đẳng áp từ nhiệt hạch (quá trình 2-5). Khí nén sau đó tiếp tục đi vào buồng đốt e để thực hiện quá trình cấp nhiệt đẳng áp từ quá trình cháy của nhiên liệu. Sản phẩm cháy tiếp tục cho giãn nở sinh công trong tuabin khí để làm quay máy phát. Quá trình thải lúc này do có nhiệt độ khá cao nên khí thải tiếp tục được đưa vào bộ trao đổi nhiệt k để nhả nhiệt cho nước (quá trình 4-4’), sau đó số còn lại tiếp tục thải ra môi trường (quá trình 4’-1).

Thiết bị tuabin hơi sau khi nhận nhiệt ở bộ trao đổi nhiệt k (quá trình 8-9-10-6). Hơi quá nhiệt lúc này cho giãn nở sinh công trong tuabin h để làm quay máy phát (quá trình 6-7), hơi sau đó được ngưng tụ hoàn toàn và bơm l đưa vào bộ trao đổi nhiệt k để nhận nhiệt của khí thải tuabin khí.

III. HIỆU SUẤT NHIỆT CỦA CHU TRÌNH

Hiệu suất nhiệt của chu trình được xác định như sau [1,2]:

$$\eta_t = \frac{m \cdot c_p \cdot (T_3 - T_4) - m \cdot c_p \cdot (T_2 - T_1) + (i_6 - i_7)}{m \cdot c_p \cdot (T_5 - T_2) + m \cdot c_p \cdot (T_3 - T_5)}$$

Với η_t là hiệu suất nhiệt của chu trình (%); i là enthalpy (kJ/kg); c_p là nhiệt dung riêng khối lượng đẳng áp; T là nhiệt độ (K); m là hệ số tỷ lệ.

So với chu trình khí – hơi thì chu trình khí – hơi – nhiệt hạch có hiệu suất cao hơn, giảm sự phụ thuộc vào năng lượng hóa thạch, giảm đáng kể lượng CO_2 thải ra môi trường.

IV. BÀI TOÁN SO SÁNH GIỮA CHU TRÌNH TUABIN KHÍ – HƠI VÀ KHÍ – HƠI – NHIỆT HẠCH

4.1. Một số giả thiết trong tính toán

- Chất môi giới trao đổi nhiệt giữa nhiệt hạch và tuabin khí được xem là không khí.
- Nhiệt dung riêng là hằng số.
- Các quá trình trong chu trình là thuận nghịch.

4.2. Điều kiện cho trước

- Công suất nhà máy 500MW.
- Nhiệt độ và áp suất vào máy nén lần lượt là: $T_1 = 300K$, $p_1 = 10^5$ pa.
- Tỷ số tăng áp $\beta = 10$
- Nhiệt độ vào tua bin khí – hơi là 1400K còn với khí – hơi – nhiệt hạch là 1600K.
- Nhiệt độ ra khỏi bộ trao đổi nhiệt khí – hơi $T_{4'} = 480$ K
- Áp suất và nhiệt độ vào tuabin hơi lần lượt là $8 . 10^5$ pa = 80 bar, 350 ^oC
- Áp suất ra khỏi tuabin là $0,5 . 10^5$ pa = 0, 5 bar

4.3. So sánh các giá trị giữa hai chu trình khí – hơi và khí – hơi – nhiệt hạch

Sau khi tiến hành tính toán, ta có được kết quả tính toán giữa hai chu trình như sau 1,2]:

Bảng 1: So sánh kết quả giữa hai chu trình

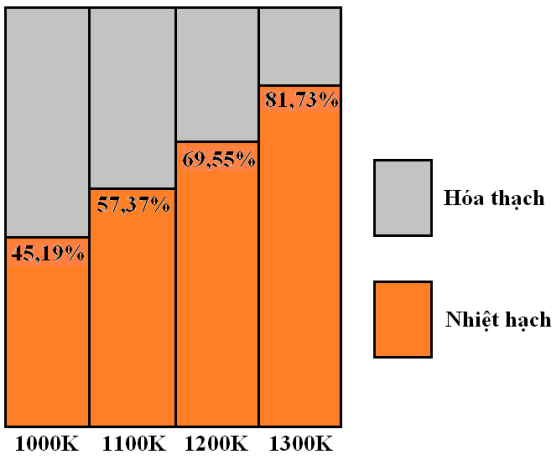
Tên	Chu trình khí – hơi	Chu trình khí – hơi – nhiệt hạch
Q_{1hh} (kW) (Nhiệt cấp cho chu trình)	861229	836505
G_k (kg/s) (Lưu lượng khối lượng khí)	1049,03	819,3
G_h (kg/s) (Lưu lượng khối lượng hơi)	97,22	97,5
N_k (MW) (Công suất tua-bin khí)	415,416	403,1
N_h (MW) (Công suất tua-bin hơi)	84,581	96,9
q (kJ/kWh) (Suất tiêu hao nhiệt)	6327	6147
b (kg/kWh) (Suất tiêu hao nhiên liệu)	0,1376	0,1337
B (tấn/h) (Lượng nhiên liệu tiêu hao trong 1giờ)	67,44	65,5
η_{thh}% (Hiệu suất nhiệt)	58,06	59,77
η % (Hiệu suất điện)	56,9	58,57

4.4. Tỷ lệ phụ thuộc nhiên liệu hóa thạch và phát thải CO_2 khi sử dụng chu trình khí – hơi – nhiệt hạch

Sự đóng góp nhiệt từ lò nhiệt hạch cho hệ thống nhiều hay ít phụ thuộc vào nhiệt độ của khí nóng sinh ra từ lò phản ứng. Để đánh giá lượng nhiệt tham gia vào quá trình cấp nhiệt, người ta gọi δ là hệ số sử dụng nhiệt hạch và được xác định như sau [1,4]:

$$\delta = \frac{T_5 - T_2}{T_3 - T_2} \quad (2)$$

Với T_2 là nhiệt độ cuối quá trình nén trước khi vào bộ trao đổi nhiệt ; T_5 là nhiệt độ sau khi ra khỏi bộ trao đổi nhiệt với nhiệt hạch ; T_3 là nhiệt độ cuối quá trình cấp nhiệt.



Hình 8: Tỷ lệ giữa năng lượng nhiệt hạch với lượng CO_2 thải ra.

Theo (2), ta tính hệ số sử dụng cho bốn trường hợp ứng với nhiệt độ đầu ra của lò phản ứng là 1000 K , 1100 K , 1200 K , 1300 K (độ chênh nhiệt độ trung bình được chọn là $\Delta T = 50$ K) . Và các hệ số sử dụng nhiệt hạch này được biểu diễn như hình 7.

Bảng 2: Tỷ lệ giữa năng lượng nhiệt hạch với lượng CO_2 thải ra và lượng nhiên liệu tiết kiệm.

Nhiệt độ ra từ lò nhiệt hạch (K)	Hệ số sử dụng nhiệt hạch (%)	Lượng nhiên liệu tiết kiệm (tấn)	Lượng khí thải CO_2 giảm còn (tấn)
1000	45	30,5	101,6
1100	57	38,7	79
1200	70	46,9	56,5
1300	82	55,1	33,9

Giả sử nhiên liệu sử dụng là khí mêtan (CH_4) thì khi đốt cháy 1kg mêtan sẽ thải ra môi trường 2,75kg CO_2. Với chu trình khí – hơi không có nhiệt hạch, lượng CO_2 thải ra khi đốt cháy 67,44 tấn nhiên liệu là: (tấn CO_2) [1]. Như vậy, khi sử dụng chu trình khí – hơi – nhiệt hạch ứng với các hệ số sử dụng nhiệt hạch thì lượng CO_2 thải ra môi trường lúc này sẽ giảm dần và kết quả được thể hiện trong hình 8 và bảng 2.

V. KẾT LUẬN

Năng lượng hạt nhân là một nguồn năng lượng vô cùng quan trọng, hầu như không thải CO_2 khi sản xuất điện do không dựa vào nhiên liệu hóa thạch, vì thế nó ít gây ảnh hưởng tới môi trường. Đồng thời, qua kết quả tính toán so sánh ở trên thì hệ thống tuabin khí – hơi – nhiệt hạch đã cải thiện được phần lớn những nhược điểm của hệ thống tuabin khí – hơi (hiệu suất cao hơn, giảm đáng kể lượng khí thải CO_2, tiết kiệm nhiên liệu và chi phí, …). Tuy thấy được những ưu thế to lớn, tuyệt vời của năng lượng hạt nhân nhưng hiện nay loại năng lượng này vẫn chưa được ứng dụng rộng rãi, do đó trong tương lai cần nghiên cứu, tìm hiểu, đưa vào sử dụng năng lượng hạt nhân nhiều hơn nhằm khai thác

triệt để những lợi thế của nó đặc biệt là trong sản xuất điện.

Những kết quả thu được ở trên sẽ là nền tảng cơ sở khá quan trọng và đồng thời cũng là một hướng đi mới cho các nghiên cứu tiếp theo về "Hệ thống phát điện tuabin kết hợp với năng lượng nhiệt hạch" – một dạng phát điện với hiệu suất cao được kỳ vọng trong tương lai sẽ thay thế dần phát điện kiểu tuabin truyền thống (hoàn toàn không sử dụng nhiên liệu hóa thạch).

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] Trần Thanh Kỳ, Nhà máy nhiệt điện, Đại học bách khoa TPHCM, Năm 1998.

[2] Phạm Lê Dần, Bùi Hải, Nhiệt động kỹ thuật, Nhà xuất bản khoa học kỹ thuật, Năm 2000.

[3] J.P. Quintenz, D.D. Bloomquist, R.J. Leeper, T.A. Mehlhorn, C.L. Olson, R.E. Olson, R.R. Peterson, M.K. Matzen, D.L. Cook, Light ion driven inertial confinement fusion, Progress in Nuclear Energy, Vol.30, Iss.2, 183-242 (1996).

[4] Y.H. Jeong, P. Saha, M.S. Kazimi, Attributes of a nuclear-assisted gas turbine power cycle, Nuclear energy and sustainability (NES) program, MIT-NES-TR-003, February 2005.

[5] Lê Chí Kiên, T.Kikuchi, Nob.Harada, High Efficiency Closed Cycle MHD Power Generation System for D-T ICF Reactor, 33rd Plasmadynamics and Lasers Conference, Maui, Hawaii, Chapter DOI: 10.2514/6.2002-2259, May 2002.