

ĐÁNH GIÁ CÁC PHÁT SINH, RỦI RO VÀ ẢNH HƯỞNG KHI SỬ DỤNG KHÍ NHIỆT TRỊ THẤP, THÀNH PHẦN CO₂ CAO ĐỂ SẢN XUẤT ĐIỆN

ThS. Võ Hồng Thái¹, TS. Nguyễn Tấn Hoa¹

ThS. Vũ Huy Bích²

¹Viện Dầu khí Việt Nam

²Công ty CP Tư vấn Xây dựng điện 2

Email: thaivh@vpi.pvn.vn

Tóm tắt

Các nhà máy điện khí chu trình hỗn hợp của Việt Nam như Cà Mau 1 & 2, Nhơn Trạch 1 & 2, Phú Mỹ... đang sử dụng khí có thành phần CO₂ thấp (< 8%) từ nguồn khí Nam Côn Sơn và PM3-CAA. Trong tương lai, các nhà máy điện mới sẽ phải sử dụng khí nhiệt trị thấp, có thành phần CO₂ cao từ nguồn khí Lô B - Ô Môn (CO₂ chiếm ~ 20%, nhiệt trị ~ 35MJ/sm³), nguồn khí từ khu vực miền Trung (CO₂ chiếm ~ 30%, nhiệt trị ~ 20MJ/sm³). Bài báo trình bày một số nhận định, đánh giá các phát sinh, rủi ro và ảnh hưởng khi sử dụng khí nhiệt trị thấp, thành phần CO₂ cao để sản xuất điện.

Từ khóa: Nhiệt trị thấp, CO₂ cao, turbine khí.

1. Giới thiệu

Với lợi thế chủ động trong việc khai thác, vận chuyển và phân phối khí, Tập đoàn Dầu khí Việt Nam đã đầu tư, xây dựng, quản lý vận hành các cụm khí - điện và các trung tâm điện lực công suất lớn. Trong đó, các nhà máy điện turbine khí chu trình hỗn hợp như: Nhà máy Điện Cà Mau 1 & 2 (2 x 750MW) thuộc Cụm Khí - Điện - Đạm Cà Mau, Nhà máy Điện Nhơn Trạch 1 (450MW) và Nhơn Trạch 2 (750MW) thuộc Trung tâm Điện lực Nhơn Trạch đang sử dụng khí có thành phần CO₂ thấp. Khoảng 2% CO₂ trong khí cấp cho Nhà máy Điện Nhơn Trạch 1 & 2 từ nguồn khí Nam Côn Sơn và khoảng 8% CO₂ trong khí cấp cho Nhà máy Điện Cà Mau 1 & 2 từ nguồn khí PM3-CAA. Dự kiến trong tương lai, Nhà máy Điện Cà Mau 2 có thể sẽ phải sử dụng nguồn khí Lô B - Ô Môn có thành phần CO₂ khoảng 20%.

Tại Việt Nam, mỏ Cá Voi Xanh khu vực miền Trung sơ bộ đã được xác định có trữ lượng khí rất lớn nhưng nhiệt trị thấp và có thành phần CO₂ cao. Nguồn khí từ Lô B - Ô Môn có nhiệt trị tương đối thấp và thành phần CO₂ cao. Do vậy, cần phải nghiên cứu sử dụng nguồn khí này cho phát điện nhằm mang lại hiệu quả kinh tế cao.

Trên thế giới hiện nay, các tổ máy turbine khí phát điện công suất lớn đều được thiết kế, chế tạo và đưa vào vận hành sử dụng phù hợp với nguồn khí tự nhiên tiêu chuẩn. Các tiêu chuẩn về thiết kế chế tạo turbine khí cũng như các tiêu chuẩn quy định về nguồn khí sử dụng cho turbine khí như ANSI/ASME B133.7M - 1985 [1] đều không quy định cụ thể về việc sử dụng khí có thành phần nhiệt trị thấp và thành phần CO₂ cao đối với turbine khí.

Để đảm bảo giá thành sản xuất điện khi sử dụng nguồn khí có nhiệt trị thấp và thành phần CO₂ cao có tính cạnh tranh so với các dạng nhiên liệu khác, cần nghiên cứu, đánh giá thành phần khí, nhiệt trị... và các công nghệ áp dụng cho sản xuất điện. Bài báo này chỉ đề cập đến khả năng sử dụng nguồn nhiên liệu khí nhiệt trị thấp và thành phần CO₂ cao sử dụng cho các turbine khí phát điện.

2. Các vấn đề phát sinh đối với các tổ máy turbine khí khi sử dụng khí nhiệt trị thấp, thành phần CO₂ cao

2.1. Đối với thiết bị turbine khí

Việc sử dụng khí có thành phần CO₂ cao, sẽ làm tăng lưu lượng nhiên liệu khí, dẫn đến tăng công suất của hệ thống tiếp nhận, xử lý và hệ thống buồng đốt nhiên liệu khí. Đối với nhiên liệu khí có độ ẩm cao, CO₂ có thể tạo ra môi trường acid gây ăn mòn cho các thiết bị, đặc biệt là thiết bị buồng đốt [2].

Mặt khác, lượng không khí do máy nén cung cấp không chỉ đảm bảo cho quá trình cháy mà còn để làm mát và sử dụng như môi chất làm việc trong turbine khí. Do vậy, sử dụng nhiên liệu khí có thành phần khí trơ cao sẽ làm giảm lưu lượng không khí nén so với khí sử dụng khí tiêu chuẩn. Ngoài ra, lưu lượng khí trơ trong nhiên liệu khí có tác dụng làm giảm phát thải NO_x trong quá trình cháy [3].

Các turbine khí thường được đặt hàng thiết kế chế tạo với thành phần khí cấp nhất định, do vậy khi sử dụng khí có thành phần khí trơ (CO₂, N₂, Ar...) cao vượt quá giới hạn cho phép theo khuyến cáo của các nhà sản xuất thì cần phải hiệu chỉnh buồng đốt, vòi đốt và một số hệ thống tiếp nhận khí.

2.2. Giới hạn bắt cháy

Giới hạn trên của điểm bắt cháy nhiên liệu là tỷ lệ (%) thể tích lớn nhất của nhiên liệu hòa trộn với không khí mà tại đó xảy ra phản ứng cháy khi tiếp xúc với nguồn lửa. Giới hạn dưới của điểm bắt cháy là tỷ lệ (%) thể tích thấp nhất của nhiên liệu để duy trì quá trình cháy trong buồng đốt.

Các loại khí khác nhau sẽ có dải bắt cháy khác nhau. Ví dụ, H₂ sẽ bắt cháy ở giới hạn hỗn hợp khí có 4% H₂ và 96% không khí (giới hạn dưới) hoặc hỗn hợp khí cháy có 75% H₂ và 25% không khí (giới hạn trên). Ngoài dải < 4% và > 75% H₂ thì hỗn hợp H₂ với không khí sẽ không cháy. Như vậy, H₂ có tỷ lệ giới hạn cháy là 75/4 (~ 18). Nếu nhiên liệu có thành phần CO₂ cao thì dải bắt cháy và tỷ số giới hạn cháy sẽ giảm.

Tỷ số giới hạn cháy ảnh hưởng đến việc vận hành turbine khí. Trong buồng đốt turbine khí, tỷ lệ nhiên liệu và không khí cấp phải được duy trì đều đặn để giữ cho động cơ turbine khí vận hành liên tục.

Thông số giới hạn bắt cháy rất quan trọng, nhằm xem xét các biện pháp an toàn như: chống nổ, chống phản hòa, thông thổi đường ống khí.

2.3. Tự động bắt cháy

Tự động bắt cháy là quá trình một hỗn hợp cháy tự phản ứng và giải phóng nhiệt năng mà không cần nguồn nhiệt hoặc tia lửa điện. Trong buồng đốt kiểu trộn trước, không khí được hòa trộn với nhiên liệu trước khi đốt. Việc tự động bắt cháy cần phải được kiểm soát do có thể làm hỏng các cấu kiện của buồng đốt và sản sinh ra lượng khí phát thải gây ô nhiễm.

2.4. Hiện tượng cháy sớm

Sự thay đổi về thành phần khí cấp, tỷ lệ giữa nhiên liệu và không khí, nhiệt độ đầu vào đều ảnh hưởng đến tốc độ ngọn lửa (tốc độ ngọn lửa khi đốt khí tự nhiên khoảng 0,29m/s, khi đốt khí propane khoảng 0,46m/s và khi đốt khí butane khoảng 0,87m/s). Hiện tượng cháy sớm có thể xảy ra nếu tốc độ ngọn lửa lớn hơn vận tốc nhiên liệu phun vào buồng đốt. Để duy trì sự ổn định ngọn lửa tại một điểm nhất định và ngăn chặn sự cháy sớm, vận tốc của hỗn hợp nhiên liệu với không khí phải nằm trong dải tốc độ lan truyền ngọn lửa. Đây là một trong những thông số quan trọng nhất chi phối hiện tượng cháy sớm. Tốc độ ngọn lửa cao thường xảy ra với loại khí có chứa thành phần propane hoặc butane cao.

2.5. Các rủi ro khi sử dụng khí nhiệt trị thấp

Các rủi ro chính đối với turbine khí khi sử dụng khí nhiệt trị thấp, CO₂ cao gồm:

- Nồng độ phát thải cao;
- Tuổi thọ thiết bị giảm;
- Sự cố đối với các cấu kiện turbine khí;
- Khó khăn trong việc kiểm soát turbine khí;
- Mỗi turbine khí chỉ có thể chịu đựng trong giới hạn các thay đổi đối với đặc tính và thành phần khí cấp tùy thuộc vào thiết kế turbine khí và các giá trị cài đặt kiểm soát turbine khí;
- Công nghệ chế tạo buồng đốt cũng phụ thuộc tương ứng cho từng loại khí khác nhau.

3. Ảnh hưởng thành phần khí nhiệt trị thấp, thành phần CO₂ cao đến công suất, hiệu suất, vận hành, tuổi thọ turbine khí

3.1. Ảnh hưởng của thành phần nhiên liệu

Turbine khí phải làm việc ở điều kiện nhiệt độ khí đầu vào turbine rất cao (~ 1.500°C). Vì vậy, việc chọn lựa nhiên liệu cho turbine khí phải tuân thủ nghiêm ngặt tiêu chuẩn của nhà chế tạo. Đặc tính nhiên liệu ảnh hưởng rất lớn đến hiệu suất, tuổi thọ thiết bị, đời sống nhà máy, chi phí vận hành bảo trì...

Thành phần khí là đặc tính kỹ thuật đặc biệt quan trọng đối với hợp đồng mua bán khí và hợp đồng EPC vì liên quan trực tiếp đến phương thức vận hành và các thông số bảo hành đối với các nhà cung cấp turbine khí. Đặc tính khí là cơ sở để thiết kế hệ thống buồng đốt và hệ thống nhiên liệu khí của turbine khí.

3.1.1. Ảnh hưởng các thành phần nhiên liệu đến tổ máy turbine khí

Thông số tổ máy turbine khí khi vận hành đối với loại nhiên liệu khí được xác định bởi các yếu tố sau:

- Công suất và suất hao nhiệt;
- Lưu lượng khí cấp và nhiệt trị thấp nhiên liệu (LHV);
- Áp suất máy nén khí;
- Nhiệt độ vào turbine;
- Nhiệt độ khí thải turbine khí;
- Chế độ làm việc của máy nén khí turbine khí;
- Chế độ làm việc của turbine khí;
- Lưu lượng và thành phần khí thải turbine khí.

3.1.2. Ảnh hưởng của thành phần nhiên liệu đến thiết kế buồng đốt turbine khí

Thành phần nhiên liệu của nguồn khí cung cấp sẽ ảnh hưởng đến các thông số thiết kế của buồng đốt turbine khí (Bảng 1).

Liên quan đến khả năng turbine khí sử dụng khí có nhiệt trị thấp có 3 vấn đề đặt ra như sau: (i) Mức độ duy trì ổn định buồng đốt; (ii) Yêu cầu đáp ứng về nồng độ phát thải; (iii) Ảnh hưởng của nhiên liệu khí đến vận hành turbine khí.

Nhiên liệu khí có nhiệt trị thấp là do trong thành phần có thành phần CO₂ cao. Độ ổn định buồng đốt phụ thuộc vào khả năng của hệ thống nhiên liệu có thể cung cấp và duy trì lượng nhiên liệu đủ cho quá trình cháy diễn ra hoàn toàn. Nhiên liệu có nhiệt trị thấp thường bị hạn chế về dải bắt cháy, tuy nhiên có thể giải quyết bằng cách bổ sung thêm lượng khí có thành phần hydrocarbon nặng (propane) trong quá trình khởi động, vận hành ở tải thấp hoặc quá trình gia tăng tải.

3.1.3. Ảnh hưởng của thành phần CH₄ trong khí cấp

CH₄ chiếm tỷ lệ lớn trong thành phần nhiên liệu khí cấp và xảy ra phản ứng hóa học chậm hơn so với các hydrocarbon khác trong buồng đốt turbine khí.

Thành phần khí là yếu tố quyết định đến mức độ ổn định của buồng đốt turbine khí. Ở điều kiện bình thường trong 1 đơn vị thể tích của khí tự nhiên, thành phần CH₄ chiếm tỷ lệ lớn và có cấu trúc phân tử ổn định hơn đối với các loại hydrocarbon khác như ethane, propane hay pentane.

Đặc tính của CH₄ là tốc độ phản ứng hóa học chậm. Khi thành phần CH₄ cao, vận tốc cháy trong buồng đốt sẽ giảm và vị trí ngọn lửa trong buồng đốt sẽ có xu hướng chúc xuống, gây ra hiện tượng bắt cháy trễ (ignition delay).

Theo thiết kế, hệ thống buồng đốt turbine khí đều có khả năng điều chỉnh vị trí ngọn lửa bằng việc thay đổi vận tốc không khí nén đưa vào buồng đốt, do đó có thể điều chỉnh mức độ dao động áp lực buồng đốt. Tuy nhiên khi thay đổi đặc tính khí sẽ phải điều chỉnh buồng đốt turbine khí và hệ thống kiểm soát nhiên liệu khí để đảm bảo độ ổn định áp lực buồng đốt.

Ngoài ra, một số chế độ vận hành cũng ảnh hưởng đến độ ổn định buồng đốt: Khởi động và lên tải; mang tải; thay đổi tải; chuyển đổi nhiên liệu.

Do đó, cần xác định tỷ lệ thành phần CH₄ để nhà chế tạo turbine khí tối ưu hóa quá trình cháy đảm bảo hiệu suất của chu trình nhiệt.

Bảng 1. Ảnh hưởng của thành phần nhiên liệu đến thiết kế buồng đốt turbine khí

TT	Thành phần nhiên liệu	Thông số thiết kế buồng đốt turbine khí bị ảnh hưởng	Ghi chú
1	Thành phần carbon dư Tỷ lệ carbon/hydrogen Hợp chất thơm	Nhiệt độ kim loại	
2	Thành phần carbon dư Thành phần hydrogen Hợp chất thơm	Khói thải	
3	Nhiệt trị Chất bốc Giới hạn cháy	Khả năng mỗi lửa/bắt cháy	
4	Giới hạn cháy Nhiệt trị khí	Hướng ngọn lửa	
5	Độ nhớt Mật độ Sức căng mặt ngoài	Hòa trộn phun nhiên liệu	
6	Tỷ lệ carbon/hydrogen Hợp chất thơm Giới hạn bắt cháy	Hiệu suất quá trình cháy	Khí có nhiệt trị thấp cần lưu lượng tăng hơn so với khí tiêu chuẩn kết quả là công suất cao hơn, gia tăng tỷ số nén. Hỗn hợp không khí và nhiên liệu khó kiểm soát
7	Tỷ lệ carbon/hydrogen Giới hạn nitrogen Nhiệt trị Tỷ lệ bay hơi nước	Phát thải	
8	Tỷ lệ carbon/hydrogen Hợp chất thơm Độ nhớt	Muội bồ hóng	

Bảng 2. Thành phần chính của turbine khí cần phải điều chỉnh thiết kế khi sử dụng khí có nhiệt trị thấp [4]

Nhiệt trị	Khí có nhiệt trị cao (42 - 105MJ/m ³)	Khí tiêu chuẩn (36MJ/m ³)	Khí có nhiệt trị trung bình (8,5 - 29MJ/m ³)	Khí có nhiệt trị thấp (3,1 - 8,4MJ/m ³)
Máy nén khí	Không phải điều chỉnh	Không phải điều chỉnh	Không phải điều chỉnh	Điều chỉnh hoặc hạn chế vận hành
Buồng đốt	Điều chỉnh nhỏ	Không phải điều chỉnh	Điều chỉnh nhỏ	Điều chỉnh
Turbine	Không phải điều chỉnh	Không phải điều chỉnh	Không phải điều chỉnh	Không phải điều chỉnh
Hệ thống nhiên liệu	Điều chỉnh nhỏ	Không phải điều chỉnh	Điều chỉnh nhỏ	Điều chỉnh
Nhiên liệu	LPG	LNG	Khí tổng hợp	Khí lò cao

Nguồn: Low BTU gas firing technologies for gas turbine (MHI)

Bảng 3. Ảnh hưởng của tỷ lệ CH₄ trong nhiên liệu đến quá trình cháy trong buồng đốt turbine khí

Methane (CH ₄)	Cao	Thấp
Nhiệt độ bắt cháy	Thấp	Cao
Vận tốc cháy	Thấp	Cao
Vị trí ngọn lửa	Xu hướng chếch xuống phía dưới buồng đốt	Xu hướng chếch lên phía trên buồng đốt

Bảng 4. Một số thiết bị đo lường phải được điều chỉnh khi thay đổi đặc tính nhiên liệu khí [5]

Thiết bị	Chi tiết	Ghi chú
Giám sát phân tích khói thải	NO _x , O ₂ , CO	Bảo vệ môi trường
Thiết bị theo dõi đo rung		Đảm bảo an toàn tin cậy trong vận hành
Thiết bị đo nhiệt độ kim loại	Vật liệu kim loại buồng đốt	Đảm bảo an toàn tin cậy trong vận hành
Bộ phân tích và lưu số liệu		Phân tích công nghệ

3.1.4. Thành phần sulfur

Cần xác định tỷ lệ thành phần sulfur để đảm bảo thiết kế chống lại độ ăn mòn các phần nóng (hot path) của turbine khí. Cơ cấu thông thường của hiện tượng ăn mòn là có sự hiện diện của nước sau đó tạo thành acid H₂CO₃, từ CO₂ và H₂SO₄ tạo thành từ H₂S. Trạng thái ăn mòn này chỉ liên quan đến sự hiện diện của nước trong nhiên liệu khí. Có 2 dạng ăn mòn phát sinh: Ăn mòn ở nhiệt độ cao làm hư hỏng tầng cánh đầu của turbine và ăn mòn ở nhiệt độ thấp, ảnh hưởng đến hệ thống kiểm soát nhiên liệu.

3.1.5. Lưu huỳnh và các kim loại kiềm

Lưu huỳnh và các kim loại kiềm có trong khí (ở thể khí hay thể lỏng) hoặc các tạp chất có trong nhiên liệu sẽ gây ra hiện tượng ăn mòn trong buồng đốt. Để ngăn chặn hiện tượng ăn mòn ở nhiệt độ cao, các tầng cánh turbine cần thiết được chế tạo bằng các vật liệu tốt. Chống ăn mòn ở nhiệt độ thấp bằng cách sử dụng khí khô và sử dụng vật liệu ống có tính chống ăn mòn cao cho các tuyến ống của hệ thống cấp khí, kiểm soát khí và ống dẫn buồng đốt.

3.1.6. Nhiệt độ khí

Cần xác định nhiệt độ tối thiểu trên điểm đọng sương tại áp suất khí cấp để đảm bảo rằng khí nhiên liệu khí cháy trong buồng đốt không tạo ra hiện tượng búa hơi làm rỗ và phá hỏng các tầng cánh turbine cũng như kết cấu buồng đốt [6].

3.1.7. Nhiệt trị khí

Cần khẳng định giá trị min/max của nhiệt trị khí cấp và cần xác nhận giá trị dao động nhiệt trị khí để tính toán thiết kế quá trình cháy. Với loại khí có nhiệt trị thấp, các nhà chế tạo turbine khí sẽ phải nghiên cứu thiết kế buồng đốt phù hợp và hệ thống giám sát điều khiển tương thích. Một số buồng đốt thiết kế có ngọn lửa hình chữ V hạn chế trong việc thay đổi nhiệt trị nhiên liệu, do vậy trong trường hợp khí cấp có dải nhiệt trị thay đổi rộng cần thiết phải được xác định bởi nhà chế tạo.

Độ dao động nhiệt trị khí thường rất khó kiểm soát, nếu nhiệt trị khí cấp dao động ở giá trị thiết kế 5% turbine khí bắt buộc phải giảm tải để tránh quá nhiệt buồng đốt. Nếu vượt quá 5% turbine khí bắt buộc phải dừng khẩn cấp. Do vậy, cần lưu ý đến mức độ dao động của nhiệt trị khí cấp [7, 8].

3.1.8. Wobbe Index

Nhiệt trị không phải là thông số chính trong phân loại công nghệ nhiên liệu khí, do vậy các nhà chế tạo turbine khí đưa ra chỉ số Wobbe Index (WI) để phục vụ quá trình thiết kế chế tạo. Nếu dải WI của khí cấp dao động vượt quá giới hạn quy định của các nhà sản xuất turbine khí thì cần thay đổi kết cấu buồng đốt và tương ứng sẽ tăng thêm chi phí chế tạo. Thông thường, các nhà sản xuất cho phép chỉ số này dao động trong khoảng ±10%.

Một số thiết kế mẫu buồng đốt thường, chỉ số WI cho phép dao động trong phạm vi $\pm 5\%$, đặc biệt có loại tổ máy turbine khí chỉ giới hạn thay đổi trong dải hẹp $\pm 2\%$ [7, 8].

Khi vận hành turbine khí với chỉ số WI nằm ngoài dải thiết kế sẽ gây ra các hiện tượng sau: Quá trình động nhiệt học cao; giảm tuổi thọ thiết bị; khả năng sự cố nghiêm trọng; gia tăng nồng độ khói thải; giảm độ linh hoạt trong vận hành.

Chỉ số WI không liên quan đến nhiệt độ ngọn lửa buồng đốt, hiệu suất truyền nhiệt hoặc gradients nhiệt độ. Tuy nhiên, đây là thông số chính để giảm thiểu ảnh hưởng đến mức độ dao động nhiệt trị khí cấp, do đó có thể sử dụng chỉ số này để gia tăng hiệu suất của buồng đốt hoặc gia tăng hiệu suất của turbine khí.

Một số hãng sản xuất turbine khí hiện nay như MHI cho phép chỉ số WI thay đổi trong dải rộng hơn tới $\pm 12\%$ bằng việc áp dụng các công nghệ tiên tiến sử dụng hệ thống điều khiển tích hợp. Với kiểu buồng đốt khô phát thải thấp (Dry Low NO_x - DLN) của thể hệ turbine khí thể hệ F có thể sử dụng khí có thành phần khí trơ lên đến 50%. Tuy nhiên khi đốt loại khí đặc biệt này, thì chế tạo buồng đốt khô phát thải thấp cần điều chỉnh thiết kế các vòi phun nhiên liệu [9].

Khi sử dụng khí có thành phần CO_2 cao và nhiệt trị thấp, cần gia nhiệt khí và kiểm soát nhiệt độ khí cấp vào buồng đốt để kiểm soát chỉ số WI, từ đó có sự điều chỉnh phù hợp [8].

3.1.9. Thành phần nước

Việc xác định thành phần nước giúp các nhà chế tạo turbine khí xem xét mức độ cần thiết để thiết kế hệ thống gia nhiệt khí, nhằm đảm bảo khí cấp vào buồng đốt turbine khí là khí khô, tránh hiện tượng xung kích buồng đốt.

3.1.10. Thành phần thủy ngân

Hiện tại, trong các tiêu chuẩn về nhiên liệu khí của các nhà chế tạo không quy định về nồng độ Hg trong nhiên liệu khí. Tuy nhiên, tổng số thành phần kim loại nặng như: Na, K, V, Pb, Ca, Zn, Ni... đã được các nhà chế tạo turbine khí quy định rất nghiêm ngặt trong tiêu chuẩn nhiên liệu. TCVN 5938-2005 quy định về nồng độ tối đa cho phép một số chất độc hại trong không khí xung quanh, trong đó quy định thành phần thủy ngân (kim loại và hợp chất) là $0,3\mu\text{g}/\text{m}^3$. Vì vậy, cần đảm bảo tổng số thành phần kim loại nặng trong khí cấp nằm trong giới hạn cho phép theo quy định của nhà chế tạo turbine khí và nồng độ thủy ngân trong khói thải đáp ứng TCVN 5938-2005 [10].

3.1.11. Độ tinh sạch của nhiên liệu khí

Để đáp ứng yêu cầu nghiêm ngặt về độ tinh sạch của nhiên liệu khí trước khi vào buồng đốt turbine, cần lắp đặt bộ lọc tinh tại trước điểm đầu nối hệ thống đường ống cung cấp khí với hệ thống nhiên liệu khí turbine, giúp tuyến đường ống phía sau bộ lọc tinh không bị ăn mòn bởi các hạt lỏng hoặc các tạp chất rắn.

Khí có thành phần hydrogen (H_2) > 1% thể tích và hoặc acetylene (C_2H_2) > 0,1% thể tích chỉ phù hợp với buồng đốt kiểu khuếch tán (diffusion mode). Nếu loại khí này đốt trong buồng đốt trộn trước (premix mode) có thể xuất hiện hiện tượng cháy sớm trong tuyến đường ống trộn trước gây hư hỏng buồng đốt.

3.1.12. Nhiệt độ điểm sương

Nhiệt độ 10K trên điểm sương là quy định đối với các thành phần khí gồm cả các hydrocarbon nặng. Điều này có nghĩa là trong nhiên liệu khí sẽ không được có bất kỳ thành phần hạt lỏng nào.

3.1.13. Thành phần khí trơ

Thành phần khí trơ trong nhiên liệu khí bao gồm carbon dioxide (CO_2) và nitrogen (N_2). Việc xuất hiện thành phần khí trơ làm giảm nhiệt trị nhiên liệu và hợp chất CO_2 có trong nhiên liệu sẽ làm tăng khả năng ăn mòn khi kết hợp với thành phần ẩm trong nhiên liệu khí.

Sử dụng khí có thành phần khí trơ cao trong nhiên liệu có khả năng làm gia tăng công suất turbine khí do lưu lượng nhiên liệu tăng (để đảm bảo nhiệt lượng vào turbine khí), lưu lượng tăng dẫn đến tăng công suất phần turbine trong khi công suất sử dụng cho phần máy nén không đổi.

Thực tế rất khó để tách biệt ảnh hưởng của khí trơ đến công suất và hiệu suất tổ máy mà chỉ xác định được ảnh hưởng được thể hiện trong chỉ số WI. Đặc tính nhiên liệu càng thay đổi càng khó khăn trong việc kiểm soát nhiệt độ buồng đốt cũng như độ dao động áp suất buồng đốt.

Nếu loại bỏ hoặc giảm tỷ lệ khí trơ trong khí nhiên liệu thì áp suất đầu vào turbine khí sẽ giảm và tỷ lệ hydrocarbon sẽ cao, khi đó cần phải đưa lượng không khí vào trong turbine lớn hơn, dẫn đến giảm hiệu suất chu trình (do tiêu hao điện năng tự dùng của máy nén khí turbine khí).

Mức độ suy giảm hiệu suất của chu trình phụ thuộc vào công suất của máy nén khí turbine lớn hay nhỏ (chỉ số này lại phụ thuộc vào áp suất khí cấp đầu vào giảm nhiều hay giảm ít).

3.1.14. Hệ thống cung cấp nhiên liệu

Khi sử dụng khí có thành phần nhiệt trị thấp, lưu lượng nhiên liệu tiêu thụ tăng do đó trạm phân phối/xử lý khí sẽ phải được nâng cấp/thay thế cho phù hợp. Hệ thống cung cấp khí cho turbine khí cần thay đổi để tương thích với lưu lượng khí đi qua. Tỷ lệ khối lượng giữa nhiên liệu và không khí cấp vào turbine theo các loại khí như Bảng 5.

3.1.15. Hệ thống điều khiển

Khi sử dụng khí có thành phần nhiệt trị thấp và thành phần CO₂ cao thì hệ thống điều khiển turbine khí cũng như chu trình đầu hơi phía sau gồm: lò thu hồi nhiệt, turbine khí... cũng phải được điều chỉnh cho phù hợp [11].

3.2. Khả năng vận hành turbine khí khi sử dụng nhiên liệu khí có thành phần nhiệt trị thấp và CO₂ cao

Các tổ máy turbine khí có thể vận hành với khí có thành phần CO₂ cao, song phụ thuộc vào tiêu chuẩn của nhà chế tạo do mỗi loại turbine khí đều có cấu trúc buồng đốt khác nhau để sử dụng các loại khí có thành phần phù hợp với thiết kế ban đầu. Trong trường hợp nguồn khí cấp có chất lượng thay đổi quá lớn có khả năng ảnh hưởng đến tuổi thọ và khả năng vận hành an toàn của tổ máy.

Với các tổ máy turbine khí đang vận hành sử dụng khí tiêu chuẩn khi chuyển sang sử dụng khí có nhiệt trị thấp cần phải điều chỉnh hệ thống buồng đốt, hệ thống điều khiển nhiên liệu, hệ thống phun nhiên liệu vào buồng đốt để duy trì công suất, hiệu suất và hoạt động ổn định của turbine khí.

Việc sử dụng khí có nhiệt trị thấp khiến cho khả năng lên tải và giảm tải của turbine khí kém linh hoạt hơn so với sử dụng khí tiêu chuẩn, cũng như phải có thiết kế khác biệt về buồng đốt và hệ thống nhiên liệu. Khi sử dụng khí có nhiệt trị thấp, các turbine khí phù hợp vận hành ở chế độ tải

nền và tải lưng. Các turbine khí kém linh hoạt khi vận hành ở chế độ tải đỉnh hoặc dao động tần số lưới nếu sử dụng khí có nhiệt trị thấp ngay cả khi hệ thống buồng đốt và hệ thống điều khiển được cải tiến. Đây là hạn chế của turbine khí khi sử dụng khí có nhiệt trị thấp và thành phần CO₂ cao.

Các loại khí có nhiệt trị trung bình và nhiệt trị cao có thể đốt ổn định trong các loại buồng đốt hiện đang thiết kế và sử dụng cho các turbine phát điện công suất lớn. Khi sử dụng khí có thành phần nhiệt trị thấp (< 10MJ/m³) ngoài việc phải thiết kế lại buồng đốt, các hãng chế tạo còn thiết kế hệ thống nhiên liệu kép để hỗ trợ khi khởi động, khi vận hành ở chế độ tải thấp và dừng máy [12].

3.3. Turbine khí và ảnh hưởng từ việc sử dụng khí phi tiêu chuẩn

Các turbine khí khi sử dụng khí có nhiệt trị thấp và thành phần CO₂ cao cần thay đổi về công nghệ để tương thích với việc thay đổi thành phần đặc tính nhiên liệu gồm: bố trí thiết kế turbine (máy nén và turbine) do thay đổi lưu lượng nhiên liệu vào buồng đốt, thay đổi về công nghệ đốt (thiết kế buồng đốt và vòi đốt), thiết kế bổ sung hệ thống cấp khí phục vụ khởi động và dừng máy, thiết bị đo lường điều khiển. Ngoài ra, việc thay đổi thành phần đặc tính nhiên liệu như trên sẽ ảnh hưởng đến hiệu suất turbine, độ an toàn, độ tin cậy cũng như chi phí vận hành và bảo trì.

Khi sử dụng khí nhiệt trị thấp và thành phần CO₂ cao, một số bộ phận của turbine khí, lò thu hồi nhiệt, turbine hơi phải thiết kế lại hoặc thay đổi so với khi sử dụng khí tiêu chuẩn để phù hợp hơn (Hình 1).

3.4. Tuổi thọ của turbine khí khi sử dụng khí có thành phần nhiệt trị thấp

Việc sử dụng khí có nhiệt trị thấp không ảnh hưởng

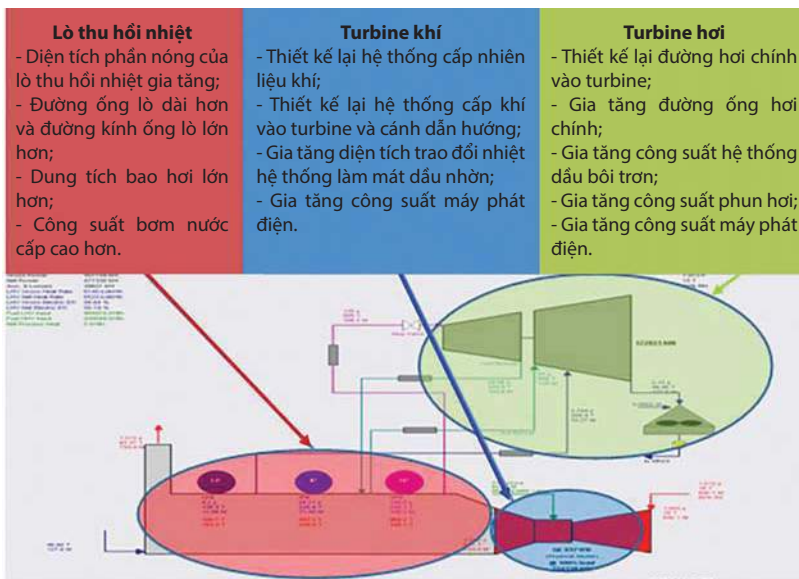
Bảng 5. Tỷ lệ khối lượng giữa nhiên liệu và không khí cấp vào turbine theo các loại khí

Loại khí	Nhiệt trị (Kcal/m ³)	Tỷ lệ khối lượng nhiên liệu và không khí
Khí tự nhiên	9.925	0,019
Khí lò đốt	2.870	0,058
Khí có nhiệt trị thấp	960	0,263

Nguồn: Gas turbine from GE

Bảng 6. Các ảnh hưởng đến turbine khí

Đặc tính nhiên liệu	Nhiên liệu	Ảnh hưởng đến hệ thống cung cấp khí tiêu chuẩn
Khí nhiệt trị thấp (lưu lượng khí tăng)	- Khí sản phẩm và khí tổng hợp (nhiệt trị thấp) - Khí tự nhiên có nhiệt trị thấp	Ảnh hưởng đến việc bố trí turbine khí, máy nén khí, vòi đốt, buồng đốt, hệ thống cung cấp nhiên liệu
Khí nhiệt trị cao (lưu lượng giảm)	LPG	Ảnh hưởng đến việc bố trí buồng đốt, vòi đốt, hệ thống cung cấp khí Hạn chế khởi động và khả năng duy trì ở tải lưng
Thành phần H ₂ cao	Khí sản phẩm và khí tổng hợp (nhiệt trị thấp)	Vận tốc ngọn lửa cao, ảnh hưởng đến khả năng trộn trước của hỗn hợp không khí và nhiên liệu
Điểm động sương cao	Khí với các thành phần nhiệt độ sôi cao	Gây ăn mòn và quá trình cháy không ổn định



Hình 1. Sơ đồ các bộ phận cần điều chỉnh thiết kế khi sử dụng khí nhiệt trị thấp, thành phần CO₂ cao

lớn đến tuổi thọ các chi tiết máy cũng như các chi phí vận hành, bảo trì.

Khi sử dụng khí có thành phần nhiệt trị thấp và CO₂ cao, tuổi thọ turbine khí vẫn được đảm bảo như khi sử dụng khí tự nhiên tiêu chuẩn. Tuy nhiên, tuổi thọ các thiết bị buồng đốt thấp hơn so với khi sử dụng khí tiêu chuẩn và chu kỳ để kiểm tra bảo dưỡng bảo trì với hệ thống buồng đốt sẽ ngắn hơn.

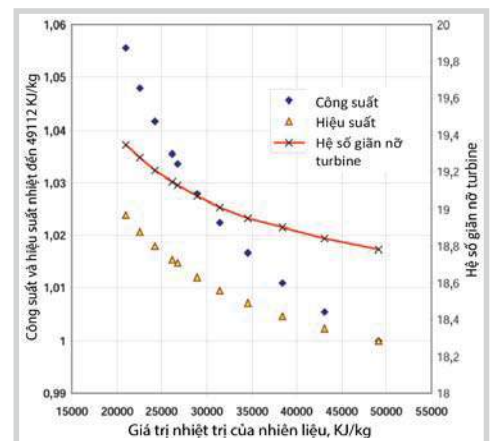
3.5. Thay đổi tải

Trong mọi trường hợp thay đổi tải xuất phát từ sự thay đổi lưu lượng nhiên liệu vào buồng đốt. Thay đổi tải do sự thay đổi tần số lưới điện tác động trực tiếp lên bộ phận điều khiển của mỗi turbine khí. Do vậy, cần thiết kế lại hệ thống kiểm soát turbine cho phù hợp khi turbine khí sử dụng khí có nhiệt trị thấp.

Nếu nhiên liệu chỉ gồm lượng hydrocarbon không có khí trơ và không có nguyên tử oxy, thì công suất tăng khi nhiệt trị thấp tăng. Ở đây, ảnh hưởng của thành phần khí đốt lớn hơn ảnh hưởng của lưu lượng khối. Khi lượng không khí trơ tăng, nhiệt trị thấp giảm sẽ làm tăng công suất, là yếu tố ảnh hưởng chính trong loại nhiên liệu có lượng khí trơ cao. Việc đưa thêm lưu lượng khối vào buồng đốt, mà không được nén bởi máy nén của turbine khí đó thì sẽ làm tăng công suất của turbine. Năng suất nén về cơ bản là không thay đổi. Một số ảnh hưởng phụ phải được tính đến trong quá trình thiết kế turbine để đốt những loại nhiên liệu có nhiệt trị thấp này.

Lượng nhiên liệu của turbine tăng dẫn đến tỷ số nén tăng, ảnh hưởng đến giới hạn tăng áp lực trong máy nén. Công suất tăng có thể vượt quá giới hạn moment xoắn trên trục turbine.

Khí có nhiệt trị thấp hơn thường bị bão hòa với hơi nước trước khi vào turbine. Hiện tượng này làm tăng hệ số truyền nhiệt trong buồng đốt và tăng nhiệt độ kim loại trong turbine - nơi yêu cầu nhiệt độ cháy làm việc thấp hơn để đảm bảo tuổi thọ của các bộ phận chi tiết turbine khí.



Hình 2. Ảnh hưởng nhiệt trị lên hiệu suất, công suất turbine khí [13]

Mỗi một loại turbine sẽ có một số nguyên tắc áp dụng với lưu lượng nhiên liệu, nhiệt độ và công suất phát trên trục để đảm bảo tuổi thọ của động cơ. Trong các trường hợp vận hành với nhiên liệu có nhiệt trị thấp, công suất và hiệu suất có thể sẽ bằng hoặc cao hơn khi đốt bằng nhiên liệu khí tiêu chuẩn.

3.6. Công suất và hiệu suất của turbine khí khi sử dụng khí có thành phần CO₂ cao

Khi sử dụng khí có thành phần CO₂ cao, các turbine khí đều có khả năng vận hành ổn định và đảm bảo công suất, hiệu suất theo thông số bảo hành của hãng chế tạo. Vấn đề đặt ra là các thông số và thành phần khí cấp phải nằm trong giới hạn cho phép của hãng chế tạo như là đầu vào để chế tạo turbine khí. Thông số công suất và hiệu suất sẽ được các nhà chế tạo bảo hành trên cơ sở đặc tính khí cấp. Khi vận hành, các dao động về thành phần khí cấp phải nằm trong dải cho phép của nhà chế tạo.

Ảnh hưởng nhiệt trị lên hiệu suất, công suất turbine khí được thể hiện trong Hình 2.

Giá trị nhiệt trị (LHV) được so sánh đến 49.112kJ/kg. Theo Hình 2, khi nhiệt trị giảm, công suất turbine khí và hiệu suất nhiệt (Th Eff) sẽ tăng.

Ngoài ra trên cơ sở công thức tính hiệu suất của turbine khí cũng có thể xác định được mức độ tăng công suất và hiệu suất turbine khí khi sử dụng khí có thành phần nhiệt trị thấp như sau:

$$\eta = \frac{3600}{HR}$$

Trong đó:

η : Hiệu suất turbine khí (%);

HR: Suất hao nhiệt (kJ/kWh).

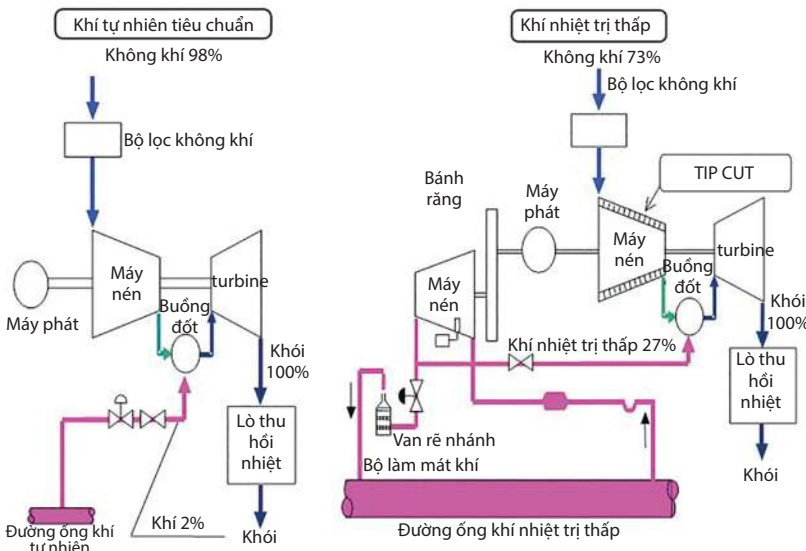
Nếu giá trị suất hao nhiệt (HR) giảm thì hiệu suất turbine khí tăng lên.

Hình 3 thể hiện sự so sánh khi turbine khí sử dụng nhiên liệu khí tự nhiên tiêu chuẩn và khí có nhiệt trị thấp.

Khi sử dụng công cụ tính toán đặc tính của GE cho các loại khí khác nhau, turbine khí sử dụng khí có tỷ lệ khí trơ cao hơn sẽ có hiệu suất cao hơn (Bảng 7).

Với điều kiện tính toán:

- Tải: 100%;
- Nhiệt độ môi trường xung quanh: 30°C;



Hình 3. Sơ đồ cân bằng lưu lượng (nhiên liệu khí và không khí) vào turbine cho 2 trường hợp sử dụng khí tiêu chuẩn và khí có nhiệt trị thấp [4]

Bảng 7. Đặc tính của turbine khí với các loại khí khác nhau

Thông số	Đơn vị	Khí Đông Nam Bộ	PM3-CAA	Lô B	Khí Cá Voi Xanh
Tổng khí trơ	%	2,7	8,7	21,1	38,0
LHV	BTU/SCF	967	973	779	591
Điều kiện tải	%	100	100	100	100
Công suất thô	MW	484	486	495	510
Chênh lệch	MW	Cơ sở	1,9	11,5	26,5
Hiệu suất thô (LHV)	%	41,02	41,04	41,23	41,23
Chênh lệch	%	Cơ sở	0,02	0,21	0,77
Hằng số nhiệt (LHV)	MMBTU/giờ	4,024	4,038	4,099	4,166
Chênh lệch	MMBTU/giờ	Cơ sở	13	74	142
Lưu lượng khí thải	kg/giờ	3.490	3.503	3.541	3.591
Chênh lệch	kg/giờ	Cơ sở	14.000	52.000	101.000
Nhiệt độ khí thải	°C	665,4	666	667,7	665,4
Chênh lệch	°C	Cơ sở	0,60	2,30	0,00
Tiêu thụ khí hàng ngày	MMSCFD	99,8	99,6	126,2	169,3
Chênh lệch	MMSCFD	Cơ sở	-0,2	26,4	69,5

Kết quả tính toán sử dụng công cụ tính toán đặc tính của GE

- Độ ẩm môi trường xung quanh: 80%;
- Độ cao: 5,0m;
- Hệ số công suất: 0,85;
- Nhiệt độ nhiên liệu: 226°C.

Kết quả khi sử dụng khí Cá Voi Xanh với thành phần khí trơ 38% thì:

- Công suất thô cao hơn 26,5MW so với sử dụng khí Đông Nam Bộ;
- Hiệu suất thô cao hơn 0,77% so với sử dụng khí Đông Nam Bộ;
- Lưu lượng khí thải nhiều hơn 101.000kg/giờ so với sử dụng khí Đông Nam Bộ;
- Lưu lượng nhiên liệu khí hàng ngày cao hơn 69,5 triệu ft³ tiêu chuẩn/ngày so với sử dụng khí Đông Nam Bộ.

3.7. Hiệu suất của phần đuôi hơi khí sử dụng khí có thành phần CO₂ cao

Cùng với sự phát triển liên tục trong thiết kế chế tạo các turbine khí công suất lớn cho phát điện, công suất và hiệu suất của turbine khí nói riêng và nhà máy điện chu trình hỗn hợp nói chung đều có tiến bộ vượt bậc do áp dụng các tiến bộ trong công nghệ chế tạo phần lò thu hồi nhiệt. Hiện nay, các lò thu hồi nhiệt đều sử dụng 3 cấp áp lực có tái sấy. Hiệu suất của lò thu hồi nhiệt có khả năng đạt tới 92 - 93%. Các turbine thế hệ mới công suất lớn có nhiệt độ khí thoát cao dẫn đến thông số hơi chính có thể đạt tới 160barg/600°C/600°C.

Nhìn chung, việc sử dụng khí có thành phần CO₂ cao không ảnh hưởng đến hiệu suất của lò thu hồi nhiệt mà chủ yếu liên quan đến nhiệt độ điểm sương phần đuôi lò và nhiệt độ khí thoát tại miệng ống lò. Các nhà chế tạo lò thu hồi nhiệt đã thiết kế tối ưu hóa quá trình trao đổi nhiệt trong lò thu hồi nhiệt nhằm tạo hiệu suất cao cho toàn bộ chu trình hơi.

4. Kết luận

Các nhà chế tạo turbine khí hiện nay đều khẳng định các turbine khí hoàn toàn

có thể sử dụng khí có nhiệt trị thấp và thành phần CO₂ cao và ảnh hưởng không lớn đến giá thành tổ máy. Nếu được thiết kế đặt hàng từ ban đầu, các turbine khí đều có thể vận hành đảm bảo công suất, hiệu suất và các tiêu chuẩn môi trường khi sử dụng khí nhiệt trị thấp và thành phần CO₂ cao.

Turbine khí mới sử dụng khí nhiệt trị thấp cần lưu ý đặc biệt đến một số các hệ thống, thiết bị phải được thiết kế phù hợp như: hệ thống cung cấp nhiên liệu, hệ thống vòi phun nhiên liệu và ống lửa vào turbine khí. Đối với phần đầu hơi cần phải được điều chỉnh để khai thác và tận dụng đầy đủ nguồn nhiệt từ khí thải turbine khí.

Đặc tính nhiên liệu khí cấp ảnh hưởng rất lớn đến tuổi thọ, chế độ vận hành và bảo trì của turbine khí. Chất lượng và thành phần khí cấp ảnh hưởng đến kết cấu buồng đốt và các phần nóng (hot part) của turbine khí.

Turbine khí có thể vận hành với khí nhiệt trị thấp và thành phần CO₂ cao, thiết kế theo đặc tính khí. Khi khí cấp có chất lượng thay đổi quá lớn sẽ ảnh hưởng đến tuổi thọ và khả năng vận hành an toàn của tổ máy. Khi sử dụng khí nhiệt trị thấp và thành phần CO₂ cao, tuổi thọ turbine khí vẫn được đảm bảo, thời gian dừng máy để bảo dưỡng hệ thống buồng đốt sẽ ngắn hơn so với khi sử dụng khí tiêu chuẩn.

Turbine khí sử dụng khí nhiệt trị thấp phù hợp vận hành ở chế độ tải nền và tải lưng, kém linh hoạt (so với khí tiêu chuẩn) ở chế độ tải đỉnh hoặc dao động tần số lưới ngay cả khi hệ thống buồng đốt và hệ thống điều khiển đã được cải tiến.

Trong quá trình xử lý khí, các nhà phát triển mỏ và cung cấp khí cần lưu ý duy trì áp suất, tổn hao ít để có thể sử dụng được động năng của dòng khí chuyển hóa thành công suất điện và cần đảm bảo áp suất cao hơn so với khí tiêu chuẩn.

Tài liệu tham khảo

1. ASME. *Gas turbine fuels*. B133.7M - 1985.
2. *Concept discussion CCPP with low Btu gas application SGT5-4000F*. 2013.
3. Federico Bonzani, Giacomo Pollarolo. *Ansaldo Energia gas turbine operating experience with low BTU fuels*. ASME Turbo Expo 2004: Power for Land, Sea, and Air. 2004; 7: p. 69 - 77.
4. Sanjay Moza. *Low BTU gas firing technologies for gas turbine*. 2006.
5. *Siemens solution finding for PVN*. 2013.
6. Meherwan P.Boyce. *Gas turbine engineering handbook (3rd edition)*. Gulf Publishing. 2006.
7. *Siemens Global*. www.siemens.com.
8. *GE Energy*. www.ge-energy.com.
9. *Power Engineering International*. www.powerengineeringint.com.
10. Bộ Khoa học và Công nghệ. *Chất lượng không khí - Nồng độ tối đa cho phép của một số chất độc hại trong không khí xung quanh*. TCVN 5938-2005.
11. Rolf Bachmann, Frank Hannemann, Franz Stirnimann, Bert Rukes. *Combined - cycle gas & steam turbine power plants (3rd edition)*. PennWell Corp. 1999.
12. *Energy Efficiency Guide for Industry in Asia*. www.energyefficiencyasia.org.
13. Cyrus B.Meher-Homji, Justin Zachary, Andrew F. Bromley. *Gas turbine fuels – system design, combustion and operability*. 2010.

Assessment of arising problems, risks and impacts when using high CO₂, low Btu gas for power generation

Vo Hong Thai¹, Nguyen Tan Hoa¹, Vu Huy Bich²

¹Vietnam Petroleum Institute

²Power Engineering Consulting Joint Stock Company 2

Email: thaivh@vpi.pvn.vn

Summary

The combined cycle power plants of Vietnam such as Ca Mau 1 and 2, Nhon Trach 1 and 2, and Phu My are using low CO₂ gas (< 8%) from the Nam Con Son and PM3-CAA gas resources. In the future, the new power plants will have to use high CO₂, low Btu gas from Block B-O Mon (CO₂ ~20%, LHV~35MJ/sm³), and central region (CO₂~30%, LHV ~20MJ/sm³) gas resources. This article presents some assessments of arising problems, risks and impacts when using high CO₂, low Btu gas for power generation.

Key words: Low Btu, high CO₂ gas turbine.