GIẢI PHÁP THU HỒI KHÍ PERMEATE TỪ NHÀ MÁY XỬ LÝ KHÍ CÀ MAU ĐỂ LÀM NHIÊN LIỆU CHO NỒI HƠI PHỤ TRỢ VÀ LÒ ĐỐT REFORMING SƠ CẤP TẠI NHÀ MÁY ĐẠM CÀ MAU

Nguyễn Văn Bình, Phạm Tuấn Anh, Nguyễn Trường Giang, Nguyễn Duy Hải

Công ty CP Phân bón Dầu khí Cà Mau

Email: binhnv@pvcfc.com.vn

<https://doi.org/10.47800/PVJ.2021.03-04>

Tóm tắt

Khí permeate chủ yếu chứa CO_2 (54%) và CH_4 (43,6%), có nhiệt trị cao khoảng 16.625 KJ/Nm^3 (bằng khoảng 47% nhiệt trị của khí tự nhiên mà Nhà máy Đạm Cà Mau đang sử dụng). Tại Nhà máy xử lý khí Cà Mau, khoảng 36% lượng khí permeate được tận dụng để đốt tại các thiết bị gia nhiệt (heater), còn lại (khoảng $70.000 \text{ Sm}^3/\text{ngày}$) phải đốt tại đuốc, gây lãng phí lớn về mặt năng lượng.

Bài báo đánh giá khả năng sử dụng khí permeate để làm nhiên liệu cho nồi hơi phụ trợ và lò đốt reforming sơ cấp tại Nhà máy Đạm Cà Mau; đề xuất các giải pháp khả thi về kỹ thuật và hiệu quả về kinh tế để thu hồi toàn bộ lượng khí permeate đang được đốt bỏ tại đuốc của Nhà máy xử lý khí Cà Mau.

Từ khóa: Khí permeate, nồi hơi phụ trợ, lò đốt reforming, Nhà máy Đạm Cà Mau, Nhà máy xử lý khí Cà Mau.

1. Giới thiệu

Nhà máy Đạm Cà Mau, công suất thiết kế là 800.000 tấn urea hạt đục/năm, được đưa vào vận hành thương mại từ tháng 4/2012. Nguồn khí tự nhiên cung cấp làm nguyên liệu và nhiên liệu cho Nhà máy Đạm Cà Mau được lấy từ mỏ PM3-CAA. Theo cấu hình thiết kế, 65% tổng lượng khí tự nhiên tiêu thụ tại Nhà máy Đạm Cà Mau sẽ được sử dụng làm nguyên liệu để sản xuất NH_3 , còn lại (35%) sẽ được sử dụng làm nhiên liệu cấp nhiệt cho lò reforming sơ cấp và nồi hơi phụ trợ.

Nhà máy xử lý khí Cà Mau, công suất xử lý 6,2 triệu m^3 khí/ngày từ nguồn khí PM3-CAA, được đưa vào vận hành thương mại từ tháng 10/2017. Theo thiết kế, trong quá trình hoạt động ổn định, Nhà máy xử lý khí Cà Mau phát sinh lượng khí permeate (side product - sản phẩm phụ) khoảng $110.000 \text{ Sm}^3/\text{ngày}$. Trong đó, khoảng 36% lượng khí này được tận dụng để đốt tại các thiết bị gia nhiệt (heater), còn lại (khoảng $70.000 \text{ Sm}^3/\text{ngày}$) phải đốt tại đuốc. Khí permeate là sản phẩm chứa phần lớn CO_2 (54,0%) và CH_4 (43,6%), có nhiệt trị cao khoảng 16.625 KJ/

Nm^3 (bằng khoảng 47% nhiệt trị của khí tự nhiên mà Nhà máy Đạm Cà Mau đang sử dụng).

Trên thế giới chưa công bố nghiên cứu về việc sử dụng dòng khí giàu CO_2 hoặc khí permeate từ nhà máy xử lý khí để làm nguyên/nhiên liệu bổ sung cho nhà máy sản xuất urea. Tuy nhiên, có một số nhà máy lọc dầu đã nghiên cứu thu hồi các cấu tử có trong khí đốt tại đuốc. Một số trường hợp đã nghiên cứu thu hồi khí đốt tại đuốc ở các nhà máy lọc dầu như sau:

- Nhà máy Lọc dầu Tabriz (Iran) [1]:

Ở điều kiện hoạt động ổn định, Nhà máy Lọc dầu Tabriz đốt bỏ lượng khí với thành phần và tính chất như sau: 43% H_2 , 10% C_1 , 30% C_2 , 2% C_3 , 10% C_{4+} , 5% H_2S ; nhiệt độ 80°C ; áp suất 1 barg; khối lượng 19,9 g/mol; lưu lượng 630 kg/giờ.

Sau quá trình nghiên cứu, Nhà máy Lọc dầu Tabriz đã lắp đặt hệ thống thu hồi khí đốt bỏ tại đuốc làm nguyên liệu để sinh hơi như sau: Sử dụng máy nén để nâng áp suất khí trước khi đưa vào cụm amine để tách H_2S ; dòng khí sạch H_2S đầu ra cụm amine sẽ được thu gom để làm nhiên liệu sản xuất hơi.

- Nhà máy Lọc dầu Shahid Hashemi-Nejad (Khangiran) (Iran) [1]:

Ngày nhận bài: 8/5/2020. Ngày phản biện đánh giá và sửa chữa: 8/5 - 16/10/2020.

Ngày bài báo được duyệt đăng: 9/3/2021.

Bảng 1. Lưu lượng và tính chất khí được đốt bỏ tại đuốc của Nhà máy Lọc dầu Shahid Hashemi-Nejad (Khangiran)

	Nhỏ nhất	Trung bình	Lớn nhất
Áp suất (Psig)	2	6	10
Nhiệt độ (°C)	-29	30	75
Lưu lượng (Nm ³ /giờ)	2.500	25.000	100.000
Thành phần (%)			
CH ₄	47,07	47,07	47,07
C ₂ H ₆	0,16	0,16	0,16
C ₃ H ₈	0,0058	0,0058	0,0058
C ₄ H ₁₀	0,0019	0,0019	0,0019
CO ₂	40,85	40,85	40,85
H ₂ S	8,06	8,06	8,06
N ₂	0,94	0,94	0,94
H ₂ O	2,91	2,91	2,91

Ở điều kiện hoạt động ổn định, Nhà máy Lọc dầu Shahid Hashemi-Nejad đốt bỏ lượng khí với lưu lượng và tính chất như Bảng 1.

Sau quá trình nghiên cứu, Nhà máy Lọc dầu Shahid Hashemi-Nejad (Khangiran) đã đề xuất lắp đặt hệ thống tương tự như Nhà máy Lọc dầu Tabriz để thu hồi khí đốt bỏ tại đuốc.

Việc đốt bỏ lượng lớn khí permeate tại Nhà máy xử lý khí Cà Mau gây lãng phí lớn về năng lượng cũng như làm tăng phát thải khí nhà kính (CO₂) ra môi trường. Do đó, việc nghiên cứu để thu hồi toàn bộ lượng khí permeate là cấp bách, giúp tối ưu về điều kiện hoạt động của Nhà máy xử lý khí Cà Mau cũng như Cụm Khí - Điện - Đạm Cà Mau.

2. Phương pháp và đối tượng nghiên cứu

2.1. Phương pháp nghiên cứu

Nhóm tác giả dựa vào hệ thống dữ liệu thực tế để xây dựng và hiệu chỉnh mô hình lý thuyết; dựa vào mô hình lý thuyết để xác định các kịch bản trong tương lai khi thực hiện thay đổi các biến; đánh giá và lựa chọn giải pháp tối ưu. Nội dung triển khai cụ thể như sau:

- Xác định thông số độ giảm áp trên đường ống từ Nhà máy xử lý khí Cà Mau qua Nhà máy Đạm Cà Mau bằng các phương pháp tính toán theo tiêu chuẩn ASME B31.3;
- Đánh giá các giải pháp có thể thu hồi khí permeate (bằng máy nén hoặc bằng ejector);
- Tính toán khả năng sử dụng ejector bằng phương pháp khoa học trên mô hình HYSIS [2];
- Đánh giá khả năng sử dụng khí permeate để làm nhiên liệu cho nồi hơi phụ trợ và lò đốt reforming sơ cấp tại Nhà máy Đạm Cà Mau;
- Tính toán việc phối trộn và liên hệ các nhà cung

cấp thiết bị để đánh giá khả năng làm việc của hệ thống đốt trong điều kiện mới (đánh giá của John Zink cho hệ thống đầu đốt của lò reformer, đánh giá của SAACKE cho hệ thống đầu đốt của nồi hơi phụ trợ);

- Đề xuất các giải pháp khả thi về kỹ thuật và hiệu quả về kinh tế để thu hồi toàn bộ lượng khí permeate (khí thấp áp) đang được đốt bỏ tại đuốc của Nhà máy xử lý khí Cà Mau.

Quá trình nghiên cứu được thực hiện qua 2 bước:

- Bước 1:
 - + Đánh giá và xác định áp suất khí tại cuối nguồn đoạn ống cấp khí permeate từ Nhà máy xử lý khí Cà Mau qua Nhà máy Đạm Cà Mau;
 - + Đề xuất giải pháp sơ bộ và xác định thành phần khí sau khi phối trộn giữa khí tự nhiên (khí cao áp) và khí permeate ở các tỷ lệ phối trộn khác nhau;
 - + Đề xuất cấu hình ejector (có tham khảo ý kiến của các nhà cung cấp thiết bị);
 - + Đánh giá khả năng đáp ứng của hệ thống đầu đốt (burner) với hỗn hợp khí ở các tỷ lệ phối trộn khác nhau giữa khí tự nhiên và khí permeate dựa vào tài liệu thiết kế của các nhà cung cấp thiết bị;
 - + Đánh giá khả năng đáp ứng của toàn bộ thiết bị với hỗn hợp khí ở các tỷ lệ phối trộn khác nhau giữa khí tự nhiên và khí permeate dựa vào mô hình giả lập (mô phỏng bằng phần mềm HYSYS) [2];
 - + Xác định và lựa chọn tỷ lệ phối trộn giữa khí tự nhiên và khí permeate.
- Bước 2:
 - + Đánh giá các giải pháp/phương án (kịch bản) thu hồi lượng khí permeate với tỷ lệ phối trộn giữa khí tự nhiên và khí permeate đã được xác định ở Bước 1;
 - + Xác định và lựa chọn phương án tối ưu về kỹ thuật và kinh tế.

2.2. Đối tượng nghiên cứu

2.2.1. Khí permeate

Khí permeate là sản phẩm phụ được sinh ra sau màng lọc rây phân tử trong quá trình hoạt động của Nhà máy xử lý khí Cà Mau. Theo thiết kế của Nhà máy xử lý khí Cà Mau, để đảm bảo nhiệt trị của khí cấp cho các hộ tiêu thụ, khí tự nhiên sau khi tách các thành phần nặng sẽ được đưa đến màng lọc rây phân tử để tách một phần CO₂. Sau màng lọc rây phân tử, khí tự nhiên sẽ được chia thành 2 dòng:

- Dòng khí không đi qua màng lọc rây phân tử (membrane residue) là dòng khí sẽ phối trộn với dòng sản phẩm lỏng, chủ yếu là C_2 , (condensate) để thành khí thương mại cấp cho các hộ tiêu thụ (nhà máy đạm và nhà máy điện);

- Dòng khí đi qua màng lọc rây phân tử là dòng khí permeate mà Nhà máy Đạm Cà Mau dự định sẽ thu hồi. Thành phần khí permeate được thể hiện như Bảng 2.

Bảng 2 cho thấy khí permeate chứa các cấu tử có thể đốt cháy để sinh nhiệt là methane (43,57%) và ethane (1,74%).

2.2.2. Khí tự nhiên

Nhà máy Đạm Cà Mau được thiết kế để hoạt động với nguồn khí tự nhiên được khai thác từ mỏ PM3-CAA tại vùng biển chồng lấn giữa Malaysia và Việt Nam. Đặc điểm khí tự nhiên mà Nhà máy Đạm Cà Mau sử dụng được thể hiện như Bảng 3 [4].

Bảng 2. Thành phần khí sau các công đoạn tại Nhà máy xử lý khí Cà Mau

	Khí đi qua màng lọc rây phân tử [3]
Nhiệt độ (°C)	42,9
Áp suất (barg)	1,7
Thành phần (%)	
Carbon dioxide	54,02
Nitrogen	0,67
Methane	43,57
Ethane	1,74
Nhiệt trị thấp (kJ/Nm ³)	15.113

Bảng 3. Thành phần khí tự nhiên cấp cho Nhà máy Đạm Cà Mau

Thông số	Thiết kế	Thực tế
Nhiệt độ (°C)	30	41,2
Áp suất (barg)	40	40
Thành phần (%)		
Carbon dioxide	8	7,24
Nitrogen	1,42	1,14
Methane	77,66	83,34
Ethane	7,38	7,96
Propane	3,53	0,03
i-Butane	0,79	0,00
n-Butane	0,72	0,01
i-Pentane	0,23	0,16
n-Pentane	0,12	0,12
n-Hexane	0,15	0,01
Nhiệt trị thấp (LHV), kJ/Nm ³	38.265	35.123

Thành phần, áp suất và nhiệt độ khí cấp cho Nhà máy Đạm Cà Mau tương đối ổn định qua các năm.

2.2.3. Hệ thống cấp khí nhiên liệu cho lò reformer và nồi hơi phụ trợ tại Nhà máy Đạm Cà Mau

Nhiên liệu chính sử dụng tại lò reformer và nồi hơi phụ trợ là khí tự nhiên. Mô hình cấp nhiên liệu cho các thiết bị này như sau: Khí tự nhiên được cấp từ nhà máy xử lý khí với áp suất khoảng 39 barg; sau quá trình tách bụi và tách lỏng, khí tự nhiên được giảm áp về 4,5 barg đến 5 barg để làm nhiên liệu cung cấp cho các hộ tiêu thụ.

2.2.4. Lò đốt reformer

Lò đốt reformer là lò cấp nhiệt cho phản ứng reforming hơi nước thông qua việc đốt cháy khí tự nhiên tại 360 đầu đốt được bố trí đều tại 4 tường lò. Lò đốt gồm 2 khu vực: Khu vực bức xạ nhiệt (radiant section) và khu vực thu hồi nhiệt thừa (convection section).

Lò đốt reformer trong dây chuyền sản xuất NH₃ của Nhà máy Đạm Cà Mau được xây dựng và lắp đặt theo công nghệ của Haldor Topsoe AS. Thiết bị reforming sơ cấp gồm 2 phần:

- Phần buồng đốt (buồng bức xạ, đây là phần chính) là khu vực cấp nhiệt cho phản ứng reforming hơi nước. Việc cấp nhiệt cho phản ứng được thực hiện thông qua ống xúc tác, bao gồm:

+ 2 buồng đốt A-B, C-D và 360 đầu đốt lắp đặt trên tường của các buồng đốt (2 tường/buồng, 6 hàng/tường, 15 đầu đốt/hàng) cấp nhiệt cho 150 ống xúc tác (75 ống/buồng).

+ 60 cửa quan sát (peepholes) được bố trí trên các tường (giữa hàng đầu đốt thứ nhất và thứ 2) để nhân viên vận hành theo dõi hoạt động của các ống xúc tác và các đầu đốt.

+ Loại gạch cách nhiệt chính sử dụng tại các tường tại buồng đốt như sau:

Tường bên (sidewall): Gạch chịu nhiệt (insulating fire-brick); sợi gốm cách nhiệt (ceramic fiber modules);

Tường cuối (endwall): Sợi gốm cách nhiệt (ceramic fiber modules);

Hình 1. Mô hình cấp khí nhiên liệu cho lò reformer và nồi hơi phụ trợ của Nhà máy Đạm Cà Mau theo thiết kế

Bảng 4. Các loại nhiên liệu sử dụng tại lò reformer

TT	Nhiên liệu	Khối lượng mol (g/mol)	Nhiệt trị (kJ/Nm ³)
1	Khí tự nhiên	20,96	38.265
2	Khí thu hồi từ công đoạn thu hồi hydro (off gas)	19,94	9.414
3	Khí thu hồi từ công đoạn tách CO ₂ (flash gas)	31,16	2.921

Ký hiệu	Mô tả	Đơn vị
T _e	Nhiệt độ khói lò	°C
T _f	Nhiệt độ khí nhiên liệu	°C
T _t	Nhiệt độ không khí	°C
T _d	Nhiệt độ tiêu chuẩn (15,6 °C)	°C
LHV	Nhiệt trị của khí nhiên liệu	Gj
H _a	Năng lượng trong không khí theo nhiệt độ	Gj
H _f	Năng lượng trong khí nhiên liệu theo nhiệt độ	Gj
Q _s	Năng lượng mất mát qua ống khói	Gj
Q _r	Năng lượng thất thoát qua bức xạ giả thuyết	Gj

Hình 2. Mô hình lò reformer với các nguồn năng lượng vào và ra

Bảng 5. Nhiên liệu sử dụng tại nồi hơi phụ trợ theo thiết kế

TT	Nhiên liệu	Khối lượng mol (g/mol)	Nhiệt trị (kJ/Nm ³)
1	Khí tự nhiên	20,96	38.265

Phần sàn (floor): Gạch chịu nhiệt (insulating firebrick);

Phần nóc (roof): Sợi gốm cách nhiệt (ceramic fiber modules).

- Phần thu hồi nhiệt thừa (convection section) là khu vực được thiết kế để tận dụng nguồn khí nhiệt độ (sau khu vực bức xạ nhiệt) để gia nhiệt các dòng công nghệ khác trong nhà máy.

Các loại nhiên liệu tại lò đốt reformer theo thiết kế như Bảng 4 [5].

Hiệu suất sử dụng nhiệt trong lò đốt reformer được tính theo công thức:

$$Efficiency = \left(\frac{Total\ heat\ input - stack\ heat\ losses - Radiation\ heat\ losses}{Total\ heat\ input} \right)$$

$$e = \frac{((LHV + H_a + H_f) - Q_s - Q_r) \times 100}{LHV + H_a + H_f}$$

Trong đó:

$$H_a = m_{air} \times c_{p\ air} \times (T_{air} - T_d)$$

$$H_f = H_{f1} + H_{f2} + H_{f3}$$

$$H_{f1} = m_{fuel} \times c_{p\ fuel} \times (T_{fuel} - T_d)$$

$$H_{f2} = m_{flash\ gas} \times c_{p\ flash\ gas} \times (T_{flash\ gas} - T_d)$$

$$H_{f3} = m_{off\ gas} \times c_{p\ off\ gas} \times (T_{off\ gas} - T_d)$$

Theo thiết kế, hiệu suất thu hồi nhiệt của lò đốt reformer đạt khoảng 90%.

2.2.5. Nồi hơi phụ trợ

Nồi hơi phụ trợ là nơi sản xuất hơi cao áp quá nhiệt (38 barg, 370 °C) của nhà máy. Theo thiết kế, nồi hơi sử dụng khí tự nhiên làm nhiên liệu chính.

Nồi hơi phụ trợ trong hệ thống sinh hơi được cung cấp bởi WESTERN POWER, có công suất 200 T/giờ hơi cao áp.

Hệ thống đầu đốt thuộc loại DDG 16 trong hệ thống đầu đốt khí tự nhiên do SACKEE cung cấp.

Các loại nhiên liệu tại nồi hơi phụ trợ theo thiết kế như Bảng 5 [6].

Hiệu suất nồi hơi được xác định như sau:

$$\eta = [D \times (H_{steam} - H_{bfw}) + D_{pw} \times (H_{pw} - h')]/(B \times Q_{dw})$$

Trong đó:

η: Hiệu suất nồi hơi;

D: Lưu lượng hơi sinh ra;

H_{steam}: Enthalpy của hơi;

H_{bfw}: Enthalpy của nước cấp nồi hơi;

D_{pw}: Lưu lượng dòng xả đáy của nồi hơi;

H_{pw}: Enthalpy của dòng xả đáy;

B: Lưu lượng khí nhiên liệu;

Q_{dw}: Nhiệt trị của khí nhiên liệu (tính theo nhiệt trị thấp).

Ở điều kiện hoạt động ổn

định, hiệu suất sinh hơi của nồi hơi phụ trợ đạt khoảng 85%.

2.2.6. Ejector

Ejector là thiết bị sử dụng dòng chất lưu có áp suất cao để nâng áp và phối trộn với dòng chất lưu có áp suất thấp. Áp suất dòng chất lưu đầu ra ejector sẽ là biến giữa tỷ lệ phối trộn và áp suất của các dòng chất lưu đầu vào.

Ejector hoạt động dựa trên định luật Bernoulli “vận tốc của dòng chất lưu tăng sẽ làm giảm áp suất của chính nó và ngược lại”.

$$V^2/2 + gz + P/\rho = \text{constant}$$

Trong đó:

V: Vận tốc dòng chất lưu;

g: Gia tốc trọng trường;

z: Cao độ so với vị trí tham chiếu;

P: Áp suất dòng chất lưu;

ρ : Khối lượng riêng dòng chất lưu.

Một ejector bao gồm các bộ phận chính như sau:

- Vòi phun là bộ phận quan trọng và chính yếu của ejector. Khí động lực sau khi qua vòi phun sẽ bị giảm áp và tăng vận tốc.

- Buồng phối trộn: Khi dòng động lực ra khỏi vòi phun và đi vào vùng phối trộn sẽ tạo 1 vùng áp thấp tại đây. Chất lưu thấp áp sẽ được phối trộn với dòng chất lưu cao áp đầu ra vòi phun tại buồng phối trộn.

- Buồng khuếch tán: Hỗn hợp chất lưu cao áp và thấp áp sau khi phối trộn sẽ đi đến buồng khuếch tán, tại vùng này hỗn hợp chất lưu sẽ giảm vận tốc và phục hồi áp suất trở lại.

2.3. Đánh giá tác động đến hoạt động của lò reformer và nồi hơi phụ trợ khi thành phần và nhiệt trị khí nhiên liệu thay đổi

Lò reformer và nồi hơi phụ trợ được thiết kế với các loại nhiên liệu cố định (chủ yếu là khí tự nhiên). Dải nhiệt trị hoạt động của hệ thống đầu đốt tại các thiết bị này tương đối hẹp. Do đó, khi thành phần và nhiệt trị khí nhiên liệu thay đổi và vượt quá giá trị thiết kế, lò reformer và nồi hơi phụ trợ có thể sẽ gặp phải một số vấn đề sau:

- Khi thành phần khí thay đổi làm nhiệt trị thấp hơn giá trị thiết kế:

- + Các đầu đốt sẽ không cung cấp đủ nhiệt lượng để lò reformer hoặc nồi hơi phụ trợ duy trì được công suất. Để duy trì được công suất, cần tăng áp suất vận hành của khí nhiên liệu. Việc tăng áp suất sẽ làm tăng rủi ro ngọn lửa tiếp xúc trực tiếp vào các vật liệu/thiết bị dẫn nhiệt trong lò;

- + Hiệu suất sử dụng nhiệt của lò reformer và nồi hơi phụ trợ sẽ giảm do lưu lượng khối lò sẽ tăng (thành phần trơ trong nhiên liệu nhiều không những không sinh nhiệt mà còn lấy nhiệt được sinh ra bởi các thành phần khác).

- Khi thành phần khí thay đổi làm nhiệt trị cao hơn giá trị thiết kế:

- + Nhiên liệu sẽ cháy không hoàn toàn và sẽ tạo muội carbon, theo thời gian sẽ làm tắc đầu đốt và giảm hiệu suất hoạt động;

- + Gây quá nhiệt cục bộ tại từng đầu đốt và ảnh hưởng trực tiếp đến các vật liệu/thiết bị dẫn nhiệt trong lò tại khu vực bị quá nhiệt. Trường hợp phải điều chỉnh giảm áp suất nhiên liệu hoặc tắt đầu đốt, sẽ làm tăng rủi ro cháy ngược hoặc sẽ làm nhiệt trong lò reformer hoặc nồi hơi phụ trợ phân bố không đều, làm ảnh hưởng đến tuổi thọ cũng như hiệu suất sử dụng nhiệt của thiết bị;

- + Lưu lượng khối lò giảm làm ảnh hưởng đến hoạt động của các thiết bị thu hồi nhiệt thừa của khói thải.

Vì vậy, việc kiểm soát thành phần và nhiệt trị khí nhiên liệu là yếu

Hình 3. Cấu tạo của 1 ejector điển hình

Hình 4. Đồ thị thể hiện sự biến thiên áp suất và vận tốc chất lưu đi tại các công đoạn của ejector

tổ quan trọng góp phần đảm bảo thiết bị hoạt động ổn định, an toàn và hiệu quả.

Các tiêu chí sau được sử dụng làm cơ sở đánh giá các trường hợp/giải pháp đề xuất:

- Nhiệt trị khí: để đánh giá khả năng hoạt động của hệ thống đầu đốt (của các lò đốt) khi thu hồi khí permeate;
- Hiệu suất thu hồi nhiệt và hiệu suất nổi hơi: để đánh giá hiệu quả của việc thu hồi khí permeate;
- Cấu hình hệ thống: để đánh giá lựa chọn phương án/giải pháp thu hồi khí permeate;
- Chi phí đầu tư (CAPEX) và chi phí vận hành (OPEX): để đánh giá tính kinh tế của phương án thu hồi khí permeate được lựa chọn.

3. Kết quả nghiên cứu

3.1. Đánh giá khả năng sử dụng khí permeate để làm nhiên liệu cho nổi hơi phụ trợ và lò đốt reforming sơ cấp tại Nhà máy Đạm Cà Mau

3.1.1. Đề xuất giải pháp sơ bộ và đánh giá tỷ lệ phối trộn

Theo thiết kế, nhiệt lượng yêu cầu cấp cho nổi hơi phụ trợ và lò reformer ở các trường hợp thể hiện ở Bảng 6 [5, 6].

Từ các điều kiện hiện hữu: (i) áp suất khí permeate thấp hơn áp suất hệ thống khí nhiên liệu cấp cho lò reformer và nổi hơi phụ trợ, (ii) hệ thống cấp khí nhiên liệu tại Nhà máy Đạm Cà Mau phải sử dụng hệ thống van để giảm áp nhằm tạo ra nguồn khí có áp suất phù hợp, để thu hồi khí permeate từ Nhà máy xử lý khí Cà Mau, có thể xem xét áp dụng một trong các giải pháp sau:

- Sử dụng máy nén (do áp suất khí permeate thấp

Bảng 6. Nhiệt lượng yêu cầu cấp cho nổi hơi phụ trợ và lò reformer ở các trường hợp khác nhau

TT	Thông số	Đơn vị	Giá trị	
			Nổi hơi phụ trợ	Lò reformer
1	Nhỏ nhất	GJ/giờ	118	463
2	Bình thường	GJ/giờ	237	515
3	Lớn nhất	GJ/giờ	591	566

Bảng 7. Lưu lượng khí permeate thu hồi, tổng lưu lượng khí phối trộn và lưu lượng khí phối trộn sử dụng tại nổi hơi phụ trợ và lò reformer cho trường hợp sử dụng máy nén

Điều kiện vận hành	Tải nổi hơi phụ trợ (%)	Khí permeate thu hồi (Nm³/giờ)	Khí tự nhiên bổ sung(*) (Nm³/giờ)	Khí phối trộn			Nhiệt trị (kJ/Nm³)
				Lưu lượng (Nm³/giờ)			
				Tổng	Nổi hơi phụ trợ	Lò reformer(**)	
Nhỏ nhất	20	3.500	1.853	5.353	5.353	0	20.041
	20	4.500	1.423	5.923	5.923	0	19.921
Hiện tại	40	3.500	5.242	8.742	8.742	0	27.111
	40	4.500	4.811	9.311	9.311	0	25.452

Ghi chú: (*) Khí tự nhiên bổ sung được xác định nhằm đảm bảo nguồn khí phối trộn đủ cấp cho nổi hơi phụ trợ hoạt động; (**) Lượng khí thiếu để đáp ứng đủ nhiệt lượng đã nêu ở Bảng 6 sẽ được bù bằng khí tự nhiên (thông qua hệ thống van giảm áp). Trường hợp lượng khí cấp dư và vượt quá nhiệt lượng ở Bảng 6 sẽ giảm lượng khí permeate thu hồi.

hơn áp suất hệ thống khí nhiên liệu cấp cho lò reformer và nổi hơi phụ trợ): để nâng áp suất dòng khí permeate từ 1,1 barg (tại đầu vào của hút máy nén) lên 6,5 barg; dòng khí permeate đầu ra máy nén sẽ được phối trộn với dòng khí tự nhiên (làm nhiên liệu) để tạo thành khí hỗn hợp trước khi đi vào hệ thống các đầu đốt tại nổi hơi phụ trợ và lò reformer.

- Sử dụng ejector: để phối trộn dòng khí permeate với dòng khí tự nhiên làm nhiên liệu hiện hữu. Trong đó dòng động lực (motive gas) là dòng khí tự nhiên (38 barg) trước khi qua hệ thống van giảm áp; dòng khí áp thấp là dòng khí permeate (áp suất là 1,1 barg tại cửa hút ejector).

Ở trường hợp sử dụng máy nén, lượng khí permeate thu hồi gần như sẽ đạt tối đa, do đó, khả năng áp dụng phụ thuộc rất lớn vào mức độ đáp ứng của hệ thống đầu đốt hiện hữu, cụ thể như Bảng 7.

Bảng 7 cho thấy, trường hợp sử dụng máy nén để thu hồi khí permeate, nhiệt trị khí nhiên liệu cấp cho các hộ tiêu thụ thấp nhất là 19.921 kJ/Nm³. Điều này xảy ra khi lò reformer không hoạt động và nổi hơi phụ trợ hoạt động ở tải tối thiểu và lượng khí permeate gas thu hồi là lớn nhất.

Ở trường hợp sử dụng ejector, lượng khí permeate có thể thu hồi ở các trường hợp khác nhau như Bảng 8.

Bảng 8 cho thấy, mặc dù nhiệt trị khí nhiên liệu cấp cho các hộ tiêu thụ có giảm so với khí tự nhiên, nhưng mức độ giảm này không đáng kể. Do đó, ở trường hợp này, vấn đề cần quan tâm là lượng khí permeate tổng được thu hồi.

Việc thu hồi khí permeate sẽ phụ thuộc vào tải của nổi hơi phụ trợ. Ở điều kiện hoạt động ổn định, lượng khí permeate mà Nhà máy Đạm Cà Mau có thể sử dụng lớn nhất là 4.000 Nm³/giờ. Điều này xảy ra khi nổi hơi phụ trợ hoạt động ở tải bình thường (40% tải).

3.1.2. Đánh giá khả năng đáp ứng của hệ thống đầu đốt với hỗn hợp khí ở các tỷ lệ phối trộn khác nhau

Nhiệt trị khí nhiên liệu sau khi thu hồi khí permeate cấp cho các hộ tiêu thụ ở các trường hợp như Bảng 9.

Bảng 8. Lưu lượng khí permeate thu hồi, tổng lưu lượng khí phối trộn và lưu lượng khí phối trộn sử dụng tại nồi hơi phụ trợ và lò reformer cho trường hợp sử dụng ejector

Điều kiện vận hành	Tải nồi hơi phụ trợ (%)	Khí permeate (Nm³/giờ)	Khí tự nhiên làm khí động lực (Nm³/giờ)	Khí phối trộn			Nhiệt trị (kJ/Nm³)
				Lưu lượng (Nm³/giờ)		Lò reformer (*)	
				Tổng	Nồi hơi phụ trợ		
		500	2.814	3.314	1.105	2.209	32.121
		1.000	5.629	6.629	2.210	4.419	32.121
Nhỏ nhất	20	1.500	8.443	9.943	3.680	6.263	32.121
	24	2.000	11.257	13.257	4.419	8.838	32.121
	30	2.500	14.071	16.571	5.524	11.047	32.121
	36	3.000	16.886	19.886	6.629	13.257	32.121
Hiện tại	40	3.500	19.700	23.200	7.410	15.790	32.121
	40	4.000	22.514	26.514	7.410	19.104	32.121
	40	4.500	25.329	29.829	7.410	22.419	32.121

Ghi chú: (*) Lượng khí thiếu để đáp ứng đủ nhiệt lượng đã nêu ở Bảng 8 sẽ được bù bằng khí tự nhiên. Trường hợp lượng khí cấp dư và vượt quá nhiệt lượng ở Bảng 8 sẽ giảm lượng khí permeate thu hồi.

Bảng 9. Nhiệt trị khí nhiên liệu phối trộn sau khi thu hồi khí permeate cấp cho các hệ tiêu thụ ở các trường hợp có so sánh với dải nhiệt trị hoạt động của hệ thống đầu đốt

TT	Trường hợp	Đơn vị	Nhiệt trị nhỏ nhất/lớn nhất (LHV)	Dải nhiệt trị hoạt động của hệ thống đầu đốt (LHV) [5, 6]	
				Nồi hơi phụ trợ	Lò reformer
1	Sử dụng máy nén	kJ/Nm ³	19.921	31.000 - 39.000	26.000 - 39.000
2	Sử dụng ejector	kJ/Nm ³	32.121	31.000 - 39.000	26.000 - 39.000

Bảng 10. Kết quả tính toán khả năng đáp ứng của lò reformer và nồi hơi phụ trợ với hỗn hợp khí ở các tỷ lệ phối trộn khác nhau

TT	Thông số	Đơn vị	Giá trị			
			Nồi hơi phụ trợ		Lò reformer	
			Khí hiện tại	Khí phối trộn	Hiện tại	Khí phối trộn
1	Nhiệt độ khói lò	°C	115	115	158	158
2	Hàm lượng oxy dư	%	3	3,5	2,5	2,5
3	Hiệu suất thu hồi nhiệt	%			90,25	90,25
4	Hiệu suất lò hơi	%	85	85		

Ở trường hợp sử dụng máy nén, nếu khí thu hồi chỉ được sử dụng cho 1 hệ tiêu thụ (lò reformer hoặc nồi hơi phụ trợ), hệ thống của đầu đốt của các hệ tiêu thụ này không thể đáp ứng. Để đảm bảo nhiệt trị nguồn khí nằm trong dải nhiệt trị hoạt động của hệ thống đầu đốt, nhà máy buộc phải cấp bù thêm khí tự nhiên vào hỗn hợp khí sau khi phối trộn (thông qua hệ thống van giảm áp).

Ở trường hợp sử dụng ejector, hệ thống đầu đốt của lò reformer và nồi hơi phụ trợ đều đáp ứng. Nhà máy không cần cấp bù thêm khí tự nhiên vào hỗn hợp khí sau khi phối trộn thông qua hệ thống van giảm áp.

Như vậy, ở tiêu chí đánh giá này, giải pháp sử dụng ejector phù hợp hơn so với giải pháp sử dụng máy nén.

3.1.3. Đánh giá khả năng đáp ứng của toàn bộ thiết bị (lò reformer và nồi hơi phụ trợ) với hỗn hợp khí ở các tỷ lệ phối trộn khác nhau

Kết quả tính toán ở mục này dựa trên giả định, hệ thống đầu đốt của các hệ tiêu thụ đều đáp ứng với hỗn hợp khí phối trộn.

Theo kết quả tính toán của nhóm tác giả bằng Hysys [2], hệ thống nồi hơi phụ trợ và lò reformer ở các trường hợp đều đáp ứng được điều kiện hoạt động với thành phần khí nhiên liệu mới theo các chỉ tiêu trong Bảng 10.

Các thông số cần điều chỉnh trong cấu hình hệ thống điều khiển công suất của nồi hơi phụ trợ và lò reformer khi sử dụng khí phối trộn như sau:

- Đối với nồi hơi phụ trợ: Điều chỉnh lại hệ số Stoich nhằm đảm bảo oxy dư trong khói lò nằm trong khoảng an toàn và tối ưu khi đốt ngót mất nguồn khí permeate;
- Đối với lò reformer: Điều chỉnh giá trị nhiệt trị của bộ điều khiển công suất đốt nhằm đảm bảo nhiệt lượng cấp cho lò reformer chính xác và ổn định.

3.1.4. Xác định và lựa chọn tỷ lệ phối trộn giữa khí tự nhiên và khí permeate phù hợp

Ở trường hợp sử dụng ejector, do hệ thống đầu đốt của nồi hơi phụ trợ và lò reformer đáp ứng được tất cả các tỷ lệ phối trộn nêu trên nên tỷ lệ phối trộn sẽ được lựa chọn sao cho hỗn hợp khí sau khi phối trộn sẽ được sử

Bảng 11. Lưu lượng khí sau phối trộn tương ứng với lượng khí permeate thu hồi cho trường hợp sử dụng máy nén

Tải nổi hơi phụ trợ (%)	Lưu lượng khí permeate thu hồi (Nm ³ /giờ)	Lưu lượng khí tự nhiên cần để phối trộn (Nm ³ /giờ)	Lưu lượng khí sau khi phối trộn (Nm ³ /giờ)		
			Tổng	Nổi hơi phụ trợ	Lò reformer (*)
20	3.500	14.000	17.500	3.792	13.708
20	4.500	18.000	22.500	3.792	18.708
40	3.500	14.000	17.500	7.615	9.885
40	4.500	18.000	22.500	7.615	14.885

Ghi chú: (*) Lượng khí thiếu để đáp ứng đủ nhiệt lượng đã nêu ở Bảng 11 sẽ được bù bằng khí tự nhiên. Trường hợp lượng khí cấp dư và vượt quá nhiệt lượng ở Bảng 11 sẽ giảm lượng khí permeate thu hồi

dùng hết ở nổi hơi phụ trợ và lò reformer. Do đó, việc lựa chọn tỷ lệ phối trộn sẽ sử dụng là 3.500 Nm³/giờ khí permeate để phối trộn với 19.700 Nm³/giờ khí tự nhiên (theo như kết quả tính toán ở Mục 3.1.1).

Ở trường hợp sử dụng máy nén, tỷ lệ phối trộn sẽ được lựa chọn sao cho nhiệt trị khí sau khi phối trộn nằm trong dải nhiệt trị hoạt động của hệ thống đầu đốt. Do dải nhiệt trị hoạt động của đầu đốt nổi hơi phụ trợ hẹp hơn dải nhiệt trị hoạt động của đầu đốt lò reformer nên sẽ dựa vào đầu đốt của nổi hơi phụ trợ để lựa chọn tỷ lệ phối trộn.

Với nhiệt trị của khí tự nhiên và khí permeate như đã nêu thì tỷ lệ phối trộn tối đa là 20/80 (để nhiệt trị khí sau phối trộn đạt mức tối thiểu là 31.000 kJ/Nm³), tức là lượng khí permeate thu hồi tối đa sẽ chiếm 20% tổng lượng khí sau phối trộn.

Với tỷ lệ phối trộn này, lượng khí sau phối trộn tương ứng với lượng khí permeate thu hồi như Bảng 11.

3.2. Đánh giá tính khả thi về kỹ thuật và hiệu quả về kinh tế của các giải pháp thu hồi toàn bộ lượng khí permeate

3.2.1. Giải pháp kỹ thuật

Với các đánh giá đã nêu ở trên, xét về mặt tổng thể, cả 2 giải pháp (sử dụng máy nén và sử dụng ejector) đều có thể áp dụng nhằm thu hồi toàn bộ lượng khí permeate tại Nhà máy xử lý khí Cà Mau để làm nhiên liệu tại Nhà máy Đạm Cà Mau.

Đối với trường hợp sử dụng ejector, nhóm tác giả đề xuất giải pháp khả thi về kỹ thuật như sau:

- Nhà máy xử lý khí Cà Mau điều chỉnh công nghệ và duy trì áp suất cấp tối thiểu khoảng 2,5 barg tại đầu nguồn.
- Nhà máy Đạm Cà Mau sẽ lắp đặt 1 bộ ejector và các thiết bị phụ trợ đi kèm để phối trộn dòng khí nhiên liệu với dòng khí permeate trước khi đưa vào đốt tại nổi hơi phụ trợ.
- Phương án kết nối với hệ thống hiện hữu như sau:
 - + Lắp đặt đường ống 8 inches để dẫn khí permeate từ Nhà máy xử lý khí Cà Mau về Nhà máy Đạm Cà Mau.

Hình 5. Mô hình cấp khí nhiên liệu cho lò reformer và nổi hơi phụ trợ theo thiết kế (a) và khí thu hồi khí permeate (b) cho trường hợp sử dụng ejector

+ Sử dụng dòng khí tự nhiên (38 barg) cấp làm dòng động lực tại ejector để nâng áp dòng khí permeate trước khi phối trộn vào hệ thống cấp khí nhiên liệu cho nổi hơi phụ trợ và lò reformer.

Đối với trường hợp sử dụng máy nén, nhóm tác giả đề xuất giải pháp khả thi về kỹ thuật như sau:

- Nhà máy xử lý khí Cà Mau điều chỉnh công nghệ và duy trì áp suất cấp tối thiểu khoảng 2,5 barg tại đầu nguồn.
- Nhà máy Đạm Cà Mau sẽ lắp đặt 1 cụm máy nén và các thiết bị phụ trợ đi kèm để nâng áp dòng khí permeate trước khi phối trộn với dòng khí nhiên liệu hiện hữu.
- Phương án kết nối với hệ thống hiện hữu như sau:
 - + Lắp đặt đường ống 8 inches để dẫn permeate gas từ Nhà máy xử lý khí Cà Mau về Nhà máy Đạm Cà Mau;
 - + Dòng khí permeate sẽ được dẫn vào máy nén để nâng áp từ 1,1 barg (tại cửa hút của máy nén) lên 6,5 barg trước khi phối trộn vào hệ thống cấp khí nhiên liệu cho nổi hơi phụ trợ và lò reformer.

3.2.2. Đánh giá tính khả thi về kỹ thuật

Cả 2 giải pháp trên đều khả thi về kỹ thuật, tuy nhiên nếu xét về cấu hình hệ thống thì giải pháp sử dụng ejector có cấu hình đơn giản hơn giải pháp sử dụng máy nén. Cấu hình hệ thống ejector đơn giản giúp quá trình vận hành và bảo dưỡng dễ dàng. Bên cạnh đó, xét về mặt tiêu hao năng lượng, giải pháp sử dụng ejector tiêu thụ năng lượng thấp hơn giải pháp sử dụng máy nén.

Hình 6. Mô hình cấp khí nhiên liệu cho lò reformer và nồi hơi phụ trợ theo thiết kế (a) và khí thu hồi khí permeate (b) cho trường hợp sử dụng máy nén

3.2.3. Đánh giá sơ bộ hiệu quả về kinh tế

Xét về hiệu quả kinh tế, giải pháp sử dụng ejector sẽ hiệu quả hơn giải pháp sử dụng máy nén do:

- Giải pháp sử dụng ejector có chi phí đầu tư thấp hơn giải pháp sử dụng máy nén;
- Chi phí vận hành của giải pháp sử dụng ejector thấp hơn chi phí sử dụng máy nén (sử dụng máy nén sẽ tiêu tốn điện với công suất tiêu thụ dự kiến khoảng 170 kW).

4. Kết luận

Kết quả nghiên cứu cho thấy có thể sử dụng khí permeate từ Nhà máy xử lý khí Cà Mau để phối trộn với nguồn khí tự nhiên hiện hữu để làm nhiên liệu cho nồi hơi phụ trợ và lò reformer tại Nhà máy Đạm Cà Mau.

Việc sử dụng khí permeate làm nhiên liệu không ảnh hưởng xấu đến hoạt động của nồi hơi phụ trợ và lò reformer.

Trong 2 giải pháp thu hồi khí permeate (giải pháp sử dụng ejector và giải pháp sử dụng máy nén) thì giải pháp sử dụng ejector là giải pháp khả thi nhất về kỹ thuật cũng như về hiệu quả kinh tế. Do đó, giải pháp sử dụng ejector cần được lựa chọn để nghiên cứu và áp dụng vào thực tế.

Tài liệu tham khảo

- [1] O. Zadakbar, Ali Vatani, and K. Karimpour, "Flare gas recovery in oil and gas refineries", *Oil & Gas Science and Technology*, Vol. 63, No. 6, pp. 705 - 711, 2008. DOI: 10.2516/ogst:2008023.
- [2] AspenTech Pte. Ltd., "Software License Agreement (Product Name: AspenONE Engineering r11; Product Number: 79001117)", 2019.
- [3] UOP LLC, "Ca Mau GPP design basis", 2015.
- [4] Nie Ningxin, "Ca Mau Fertilizer Plant design basis", Wuhan Engineering Co., Ltd, 2009.
- [5] G. Tiballi, "Primary reformer F04201 - Burner datasheet & curves (Ca Mau Fertilizer Plant)", Hamworthy Combustion Engineering Limited, 2010.
- [6] M. Mantyk, "Technical datasheet for SAACKE firing system (Auxiliary boiler -Ca Mau Fertilizer Plant)", SAACKE GmbH, 2011.

SOLUTION FOR RECOVERY OF PERMEATE GAS FROM CA MAU GAS PROCESSING PLANT TO USE AS FUEL FOR AUXILIARY BOILER AND REFORMER FURNACE AT CA MAU FERTILIZER PLANT

Nguyen Van Binh, Pham Tuan Anh, Nguyen Truong Giang, Nguyen Duy Hai

Petrovietnam Camau Fertilizer Joint Stock Company

Email: binhnv@pvcfc.com.vn

Summary

Permeate gas mainly contains CO_2 (54%) and CH_4 (43.6%), with a high calorific value of about 16,625 KJ/Nm³ (equivalent to about 47% of the calorific value of the natural gas that Ca Mau Fertilizer Plant is using). At the Ca Mau Gas Processing Plant, approximately 36% of permeate gas is used for burning in the heater, while the rest (about 70,000 Sm³/day) is burned at the flare stack, causing huge waste in terms of energy.

The paper evaluates the possibility of using permeate gas as fuel for the auxiliary boiler and the reformer furnace at Ca Mau Fertilizer Plant, and propose feasible and cost-effective technical solutions to fully recover the permeate gas currently disposed by burning at the flare stack of the Ca Mau Gas Processing Plant.

Key words: Permeate gas, auxiliary boiler, reformer furnace, Ca Mau Fertilizer Plant, Ca Mau Gas Processing Plant.