DầuKhí
KHOA HỌC, CÔNG NGHỆ VÀ ĐỔI MỚI SÁNG TẠO PETROVIETNAM

GIẢI PHÁP KỸ THUẬT ĐỂ CUNG CẤP PERMEATE GAS TỪ NHÀ MÁY XỬ LÝ KHÍ CÀ MAU CHO NHÀ MÁY ĐẠM CÀ MAU

Đặng Đức Thuyết, Lê Xuân Thắng, Dương Xuân Thao, Trần Huy Thực, Nguyễn Hồng Quang, Mai Vũ Hoàng, Nguyễn Hồ Cẩm
Tổng công ty Khí Việt Nam - CTCP (PV GAS)
Email: thuyet.dd@pvgas.com.vn
https://doi.org/10.47800/PVSI.2025.04-05

Tóm tắt

Tại Nhà máy Xử lý khí Cà Mau, cụm thiết bị điều chỉnh CO_2 sản xuất khoảng 140 kSm^3/ngày permeate gas, trong đó có khoảng 40 - 50 kSm^3/ngày được sử dụng làm khí nhiên liệu áp suất thấp (Low Pressure Fuel Gas) cho các thiết bị gia nhiệt. Lượng permeate gas dư thừa khoảng 90 - 100 kSm^3/ngày được xả bỏ và đốt tại đuốc. Để thu hồi và tận dụng được lượng permeate gas dư thừa này, nhóm nghiên cứu đã đề xuất giải pháp khoa học công nghệ sử dụng gas ejector thu hồi và chuyển dòng permeate gas này sang Nhà máy Đạm Cà Mau. Dòng khí sau thu hồi được hòa trộn với natural gas, bổ sung làm nguyên liệu cho quá trình sản xuất phân đạm. Giải pháp này giúp tối ưu việc sử dụng nguồn nguyên nhiên liệu, gia tăng sản lượng sản xuất urea, giảm phát thải khí nhà kính ra môi trường.

Từ khóa: Permeate gas, khí nhiên liệu áp suất thấp, PM3 Cà Mau, Nhà máy Xử lý khí Cà Mau, Nhà máy Đạm Cà Mau.

1. Giới thiệu

Nhà máy Xử lý khí Cà Mau (GPP Cà Mau) có nhiệm vụ thu hồi sản phẩm lỏng có giá trị (LPG, condensate) từ nguồn khí PM3 Cà Mau. Khí sau khi thu hồi lỏng (khí thương phẩm - sales gas) được đưa đến Trung tâm Phân phối khí Cà Mau (GDC) để cấp cho các hộ tiêu thụ hạ nguồn gồm Nhà máy Điện Cà Mau và Nhà máy Đạm Cà Mau. Do đặc điểm về yêu cầu chất lượng khí, dòng sales gas đầu ra của Nhà máy Xử lý khí Cà Mau cấp cho các hộ tiêu thụ hạ nguồn điện và đạm phải đáp ứng yêu cầu về hàm lượng CO_2 là < 8% mol và có nhiệt trị tối thiểu là 37 MJ/Sm^3. Tuy nhiên, sau khi tách C_{3+} từ dòng khí đầu vào, khí đầu ra sẽ có hàm lượng CO_2 tăng lên và vượt so với yêu cầu. Do đó, Nhà máy Xử lý khí Cà Mau thiết kế 1 cụm thiết bị điều chỉnh CO_2 để đưa hàm lượng CO_2 trong dòng khí đầu ra nhà máy đáp ứng tiêu chuẩn chất lượng của các hợp đồng mua bán khí hạ nguồn.

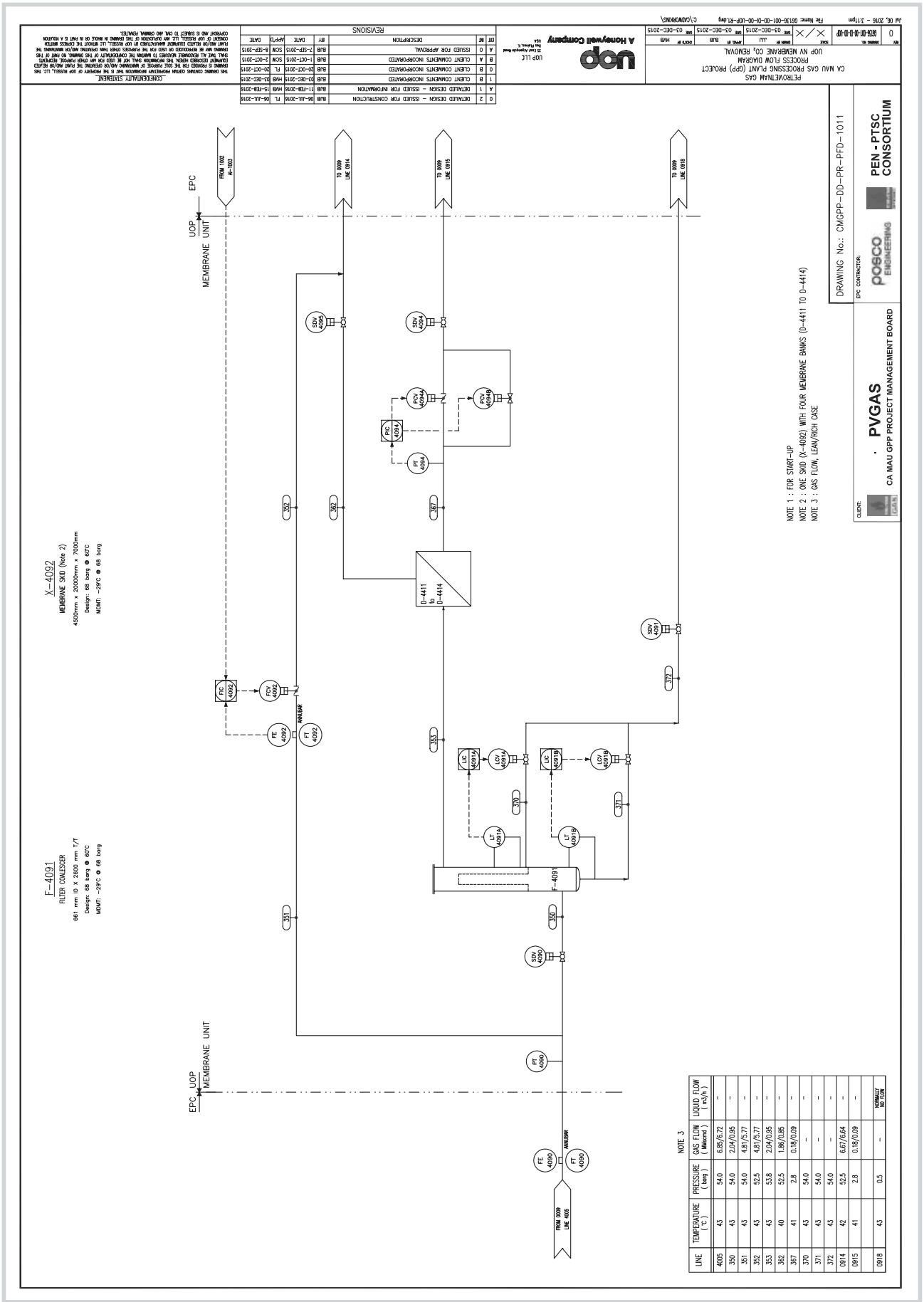
Cụm điều chỉnh CO_2 của Nhà máy Xử lý khí Cà Mau sử dụng công nghệ màng tách CO_2 (CO_2 membrane adjustment), trong đó các khí có khả năng thẩm thấu tốt qua màng là CO_2 và một phần CH_4 sẽ qua màng tách ra ngoài theo dòng permeate gas. Các thành phần hydrocarbon còn lại có độ thẩm thấu thấp hơn sẽ đi theo dòng residue gas.

Dòng permeate gas có hàm lượng CO_2 cao (chiếm khoảng 42%), còn lại chủ yếu là CH_4 (chiếm khoảng 55%) với áp suất khoảng 3 barg được thiết kế dùng một phần làm nguồn cung khí nhiên liệu (fuel gas) thấp áp cho Nhà máy Xử lý khí Cà Mau [1].

Lưu lượng permeate gas trung bình tách ra khoảng 140 kSm^3/ngày. Permeate gas được sử dụng làm nguồn khí nhiên liệu thấp áp cho Nhà máy Xử lý khí Cà Mau với khoảng 40 - 50 kSm^3/ngày. Lượng permeate gas còn dư sẽ được đốt tại flare với lưu lượng khoảng 90 - 100 kSm^3/ngày [1]. Trong khi đó, Nhà máy Đạm Cà Mau vẫn phải lấy thêm khí dùng làm nhiên liệu để gia tăng nguồn khí tự nhiên (motive gas) cho việc tạo ra các sản phẩm phục vụ quá trình sản xuất phân đạm.

Do đó, việc đưa ra giải pháp tận dụng nguồn permeate gas dư tại Nhà máy Xử lý khí Cà Mau cấp thêm cho Nhà máy Đạm Cà Mau làm nhiên liệu là yêu cầu cấp thiết, giúp tối ưu hóa việc sử dụng nguồn nguyên nhiên liệu, gia tăng sản lượng urea, giảm phát thải khí nhà kính ra môi trường.

Ngày nhận bài: 3/6/2025
Ngày đánh giá và sửa chữa: 3/6 - 15/7/2025
Ngày duyệt đăng: 15/7/2025



Hình 1. Sơ đồ công nghệ hệ thống cung cấp permeate gas tại Nhà máy Xử lý khí Cà Mau.

2. Giải pháp cung cấp permeate gas từ Nhà máy Xử lý khí Cà Mau cho Nhà máy Đạm Cà Mau

2.1. Phương án công nghệ thu hồi permeate gas

Việc đề xuất phương án công nghệ sử dụng permeate gas từ Nhà máy Xử lý khí Cà Mau cho Nhà máy Đạm Cà Mau được thực hiện trên cơ sở nghiên cứu các dữ liệu sau:

- Tài liệu thiết kế, thông số kỹ thuật của các thiết bị trong Nhà máy Xử lý khí Cà Mau và Nhà máy Đạm Cà Mau.

- Số liệu về nguồn khí, nhu cầu tiêu thụ của hệ thống fuel gas cả 2 nhà máy.

Các phương án công nghệ sử dụng permeate gas từ Nhà máy Xử lý khí Cà Mau cho Nhà máy Đạm Cà Mau phải đảm bảo:

- Công suất thu hồi permeate gas cao nhất.

- Tận dụng tối đa hạ tầng kỹ thuật hiện có của các hệ thống trong Nhà máy Xử lý khí Cà Mau và Nhà máy Đạm Cà Mau.

- Hệ thống vận hành an toàn, hiệu quả.

- Hạn chế ảnh hưởng đến các hệ thống thiết bị chính của 2 nhà máy.

Khả năng tiếp nhận của permeate gas tại Nhà máy Đạm Cà Mau được đánh giá như Bảng 1.

Lò đốt tại Nhà máy Đạm Cà Mau sử dụng nhiên liệu chính là khí tự nhiên, cũng là dòng sales gas được cấp từ Nhà máy Xử lý khí Cà Mau. Khi chuyển đến Nhà máy Đạm Cà Mau, dòng khí này ở trạng thái tiếp nhận có áp suất 40 barg, nhiệt độ 41°C và hàm lượng CO_2 không quá 8%mol. Nhiệt trị trung bình dòng khí này xấp xỉ khoảng 37,2 MJ/Sm^3, nằm trong khoảng yêu cầu từ 26 - 39 MJ/Sm^3 của lò đốt, do đó đáp ứng đủ tiêu chuẩn để cung cấp cho lò. Trước khi đưa vào lò sử dụng, dòng sales gas sẽ được giảm áp xuống 5 barg theo công nghệ của Nhà máy Đạm Cà Mau. Trong khi đó, permeate gas dù chứa các hydrocarbon (CH_4, C_2H_6…) có thể đốt cháy sinh nhiệt như khí tự nhiên, nhưng hàm lượng CO_2 lại rất cao, lên đến 40 - 55% mol, làm cho nhiệt trị của permeate gas chỉ đạt khoảng 19 - 25 MJ/Sm^3, không đủ tiêu chuẩn để cấp cho lò đốt.

Tuy nhiên, việc phối trộn permeate gas với khí tự nhiên để được hỗn hợp khí mới, với tỷ lệ phù hợp, sẽ giúp cải thiện nhiệt trị đạt yêu cầu khí cấp cho lò đốt. Permeate gas vốn là thành phần được tách ra từ dòng khí tự nhiên, nên việc phối trộn permeate gas và khí tự nhiên là hoàn toàn tương thích. Do vậy, permeate gas được đánh giá là phù hợp để kết hợp cùng với khí tự nhiên làm nhiên liệu cho lò đốt tại Nhà máy Đạm Cà Mau.

Sau khi nghiên cứu, kỹ sư của 2 nhà máy đã phối hợp đề xuất các phương án phối trộn cho mục đích tận thu nguồn permeate gas, gồm:

- Lắp đặt máy nén tại Nhà máy Xử lý khí Cà Mau: để nâng áp suất dòng permeate gas lớn hơn 5 barg; dòng permeate gas 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 lò đốt.

- Lắp đặt gas ejector tại Nhà máy Đạm Cà Mau: để phối trộn dòng permeate gas với dòng khí tự nhiên làm nhiên liệu hiện có. Trong đó dòng động lực (motive gas) là dòng khí tự nhiên trước khi qua hệ thống van giảm áp; dòng khí áp suất thấp (suction gas) là dòng permeate gas.

Trong 2 giải pháp được nghiên cứu (máy nén và ejector), giải pháp sử dụng ejector được lựa chọn vì các lý do sau:

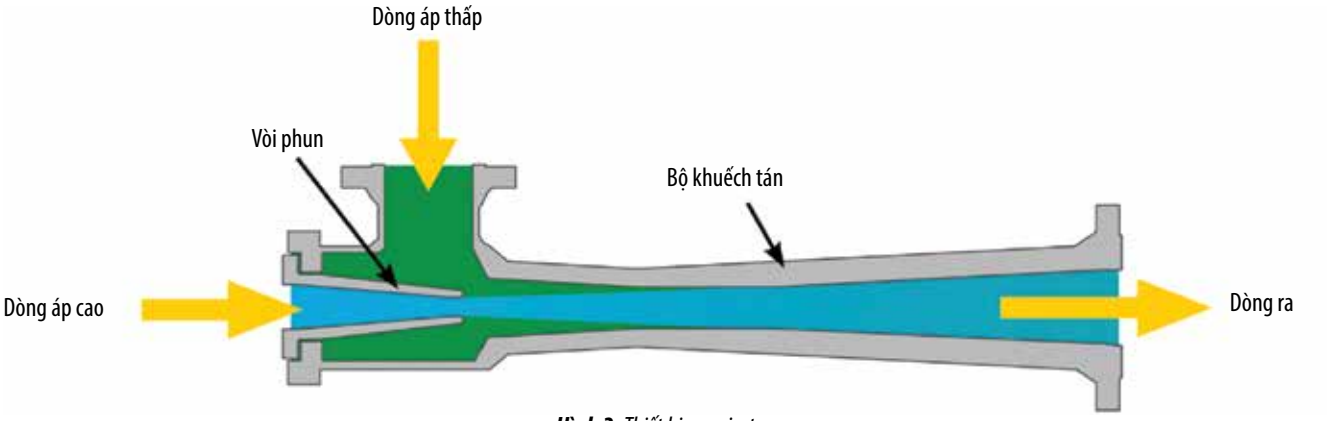
- Về mặt kỹ thuật, giải pháp ejector đảm bảo nhiệt trị khí hỗn hợp nằm trong dải hoạt động của đầu đốt, không cần cấp bù khí tự nhiên và không ảnh hưởng xấu đến hoạt động của thiết bị. Ngoài ra, cấu hình hệ thống ejector đơn giản hơn và tiêu hao năng lượng thấp hơn so với máy nén.

- Về mặt kinh tế, giải pháp ejector có chi phí đầu tư và chi phí vận hành thấp hơn.

Phương án cũng bao gồm lắp đặt các đường ống và các van để vận chuyển permeate gas từ Nhà máy Xử lý khí Cà Mau cung cấp cho Nhà máy Đạm Cà Mau. Để đảm bảo hoạt động tối ưu và an toàn, cần điều chỉnh lại hệ số stoichiometric nhằm đảm bảo oxy dư trong khói lò nằm trong khoảng an toàn và tối ưu khi đột ngột mất nguồn permeate gas.

Bảng 1. *Đặc tính nguồn khí sử dụng cho lò đốt tại Nhà máy Đạm Cà Mau và permeate gas [2]*

	Khí thiên nhiên	Permeate gas	Yêu cầu khí cấp cho lò đốt
Nhiệt độ (°C)	41	40	N/a
Áp suất (barg)	40	3	5
Nhiệt trị (MJ/Sm^3)	37,2	19 - 25	26 - 39
Thành phần CO_2 (%mol)	8	40 - 55	N/a



Hình 2. *Thiết bị gas ejector.*

Bảng 2. *Nhu cầu nhiệt lượng và lưu lượng khí cho nồi hơi*

Nhiệt lượng cần cung cấp (GJ/giờ)	Permeate gas (3 barg, 43°C)		Natural gas tại Nhà máy Đạm Cà Mau (39,5 barg, 28°C)		Total gas	
	Lưu lượng khí (Sm^3/giờ)	Nhiệt lượng (GJ/giờ)	Lưu lượng khí (Sm^3/giờ)	Nhiệt lượng (GJ/giờ)	P đầu ra ejector (barg)	Nhiệt lượng (GJ/giờ)
283,13	2.450	48,35	6.961,9	234,78	5,02	283,13

Gas ejector là thiết bị tĩnh, hoạt động dựa trên hiệu ứng Venturi của 1 vòi phun hội tụ - phân kỳ để chuyển đổi năng lượng áp suất của dòng lưu chất chuyển động thành năng lượng vận tốc. Sự chuyển đổi này tạo ra một vùng áp suất thấp, mà tại đó lưu chất có áp suất thấp bị cuốn theo dòng lưu chất có áp suất cao đang chuyển động. Nói cách khác, gas ejector sử dụng năng lượng bên trong lưu chất có áp suất cao để cuốn theo, hút và nén lưu chất có áp suất thấp hơn đến mức áp suất trung bình [2].

Ở đây nguyên lý Bernoulli cũng được ứng dụng trong hoạt động của gas ejector. Khi dòng lưu chất chuyển động đi vào ống phun với áp lực lớn và áp suất tăng, làm áp suất cục bộ giảm đột ngột trong phần cổ thu hẹp của thiết bị. Nói cách khác là áp suất tĩnh giảm khi áp suất động tăng. Nhờ vậy, lưu chất áp suất thấp sẽ bị hút vào và cuốn theo dòng chuyển động. Khi đó, dòng chuyển động và dòng bị cuốn sẽ được hòa trộn vào nhau. Cuối cùng hỗn hợp hòa trộn sẽ được phun ra tại cửa ra của thiết bị.

Trong ứng dụng này, ở điều kiện vận hành bình thường của cụm điều chỉnh CO_2 sử dụng membrane, permeate gas được tạo ra và lưu trữ trong bình chứa V-1486 ở áp suất vận hành 3 barg. Permeate gas này với lưu lượng phù hợp sẽ được vận chuyển tới Nhà máy Đạm Cà Mau thông qua hệ thống đường ống dẫn khí cùng với hệ thống các van tay cô lập, van điều khiển và van bảo vệ an toàn. Tại Nhà máy Đạm Cà Mau, thiết bị gas ejector sẽ được lắp đặt và vận hành. Thiết bị này sẽ hoạt động theo nguyên lý nén khí bằng khí động lực ở áp suất cao để lôi cuốn dòng khí có áp suất thấp hơn. Dòng khí động lực được sử dụng cho phương án này là dòng khí tách ra từ thiết bị tách khí tự nhiên (natural gas separator) tại Nhà máy Đạm Cà Mau. Dòng khí áp suất thấp bị lôi cuốn theo chính là dòng permeate gas được đưa tới và chờ sẵn trong đường ống mới dẫn khí từ Nhà máy Xử lý khí Cà Mau. Thiết bị ejector lúc này cũng đóng vai trò là nơi phối trộn và nâng áp suất dòng khí nhiên liệu hòa trộn lên đến áp suất yêu cầu (khoảng 5 barg) của hệ thống lò đốt boiler [2, 3].

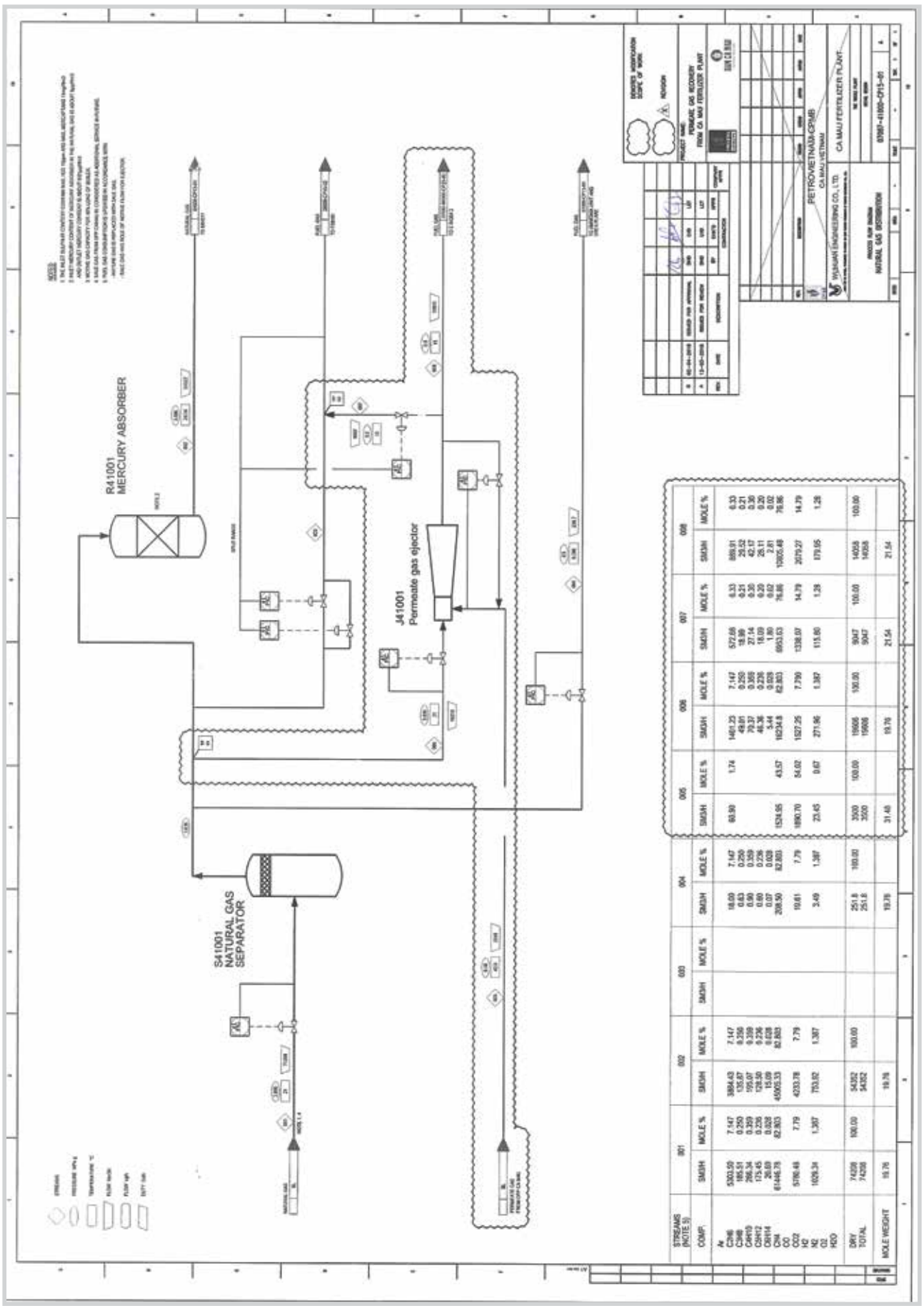
Hình 3 mô tả phương án công nghệ sử dụng thiết bị gas ejector để thu hồi và tận dụng dòng permeate gas dư cung cấp cho Nhà máy Đạm Cà Mau.

Các thiết bị chính sử dụng trong phương án công nghệ thu hồi permeate gas bao gồm:

- Gas ejector để thu gom permeate gas sử dụng làm nguồn nhiên liệu cho hệ thống lò đốt boiler.
- Các van tay và SDV để cô lập hệ thống đường ống, thiết bị.
- Các van điều khiển để điều khiển công nghệ.
- Các van PSV để bảo vệ hệ thống khi quá áp.

Lưu lượng permeate gas và motive gas sẽ được điều chỉnh dựa theo thông số đầu vào của 2 nguồn khí đi vào thiết bị ejector đặt tại Nhà máy Đạm Cà Mau để dòng khí đầu ra thu được có áp suất lớn hơn 5 barg.

Như vậy, lưu lượng khí lớn nhất được dùng để tính



Hình 3. *Cấu hình hệ thống permeate gas ejector lắp đặt tại Nhà máy Đạm Cà Mau [4].*

toán cho gas ejector là 2.450 Sm^3/giờ đối với permeate gas và 6.961,9 Sm^3/giờ đối với motive gas [3].

2.2. Tính toán thiết kế thiết bị công nghệ

2.2.1. Các thông số đầu vào

Dữ liệu đầu vào phục vụ tính toán thiết kế bao gồm lưu lượng, thành phần khí, nhiệt độ, áp suất khí tại Nhà máy Xử lý khí Cà Mau và các thông số yêu cầu về khí sử dụng tại Nhà máy Đạm Cà Mau.

- Tính chất nguồn permeate gas

+ Thành phần CO_2: khoảng 42% vol.

+ Thành phần chính còn lại là CH_4: khoảng 55% vol.

+ Áp suất: khoảng 3 barg.

+ Tổng lưu lượng: ~140 kSm^3/ngày.

+ Lưu lượng sử dụng cho fuel gas: 40 - 50 kSm^3/ngày.

+ Lưu lượng cung cấp cho Nhà máy Đạm Cà Mau: 90 - 100 kSm^3/ngày.

Thành phần khí nghèo (chứa ít hydrocarbon nặng, lean case) được dùng để mô phỏng sản lượng khí thu được. Thành phần khí giàu (chứa nhiều hydrocarbon nặng, rich case) được sử dụng để tính toán thông số cho các thiết bị [1, 3].

- Công suất hệ thống cung cấp permeate gas

Dựa vào Bảng 3, nguồn permeate gas sẽ được đánh giá như sau:

+ Trường hợp tối đa (maximum case):

Với trường hợp khí nghèo, lưu lượng permeate gas lớn nhất có thể cung cấp là 220.000 Sm^3/ngày (theo SOW), trong đó lượng cấp cho hệ thống fuel gas tại GPP là 40.000 Sm^3/ngày nên lượng permeate gas có thể cấp cho Nhà máy Đạm Cà Mau chỉ còn là 180.000 Sm^3/ngày (7.500 Sm^3/giờ). Đây sẽ là lưu lượng tối đa cho trường hợp sử dụng máy nén.

+ Trường hợp thông thường (normal case):

Lưu lượng thông thường của permeate gas là 140.000 Sm^3/ngày, trong đó lưu lượng sử dụng cho fuel gas là 40.000 Sm^3/ngày, vì vậy lưu lượng permeate gas cung cấp cho Nhà máy Đạm Cà Mau chỉ còn lại 100.000 Sm^3/ngày (4.166,7 Sm^3/giờ).

+ Trường hợp tối thiểu (minimum case):

Trường hợp lưu lượng thấp nhất được xem xét bằng 30% lưu lượng trong trường hợp tối đa (tương đương với mức lưu lượng của turndown case thông thường của máy nén khí).

Bảng 3. *Bảng đặc điểm, thành phần permeate gas (theo SOW)*

	Giá trị	
	Lean case	**Rich case**
Thông số		
Lưu lượng (MMscmd)	0,22	0,06
Áp suất (min) (barg)	1,75	
Áp suất (normal) (barg)	2,77	2,70
Nhiệt độ (°C)	41,13	41,4
Khối lượng phân tử (kg/kmol)	28,18	28,46
Khối lượng riêng (kg/m^3)	4,0	4,1
Áp suất riêng phần của CO_2 (barg)	1,63	1,63
Thành phần (% mol)		
CO_2	42,06	42,81
N_2	1,16	0,79
CH_4	55,11	54,00
C_2H_6	1,67	2,39
C_3H_8	0,01	0,01
i-C_4H_{10}	0,00	0,00
n-C_4H_{10}	0,00	0,00
i-C_5H_{12}	0,00	0,00
n-C_5H_{12}	0,00	0,00
H_2O	0,00	0,00
Nhiệt trị LHV (MJ/m^3)	19,831	19,734

Vậy nên lưu lượng tối thiểu sẽ là 180.000 x 0,3 = 54.000 Sm^3/ngày (2.250 Sm^3/giờ).

Lưu lượng trong các trường hợp trên sẽ chỉ được dùng để tính toán cho phương án sử dụng máy nén khí. Các phương án sử dụng gas ejector sẽ đưa ra lưu lượng (tối đa, tối thiểu và thông thường) phù hợp trong quá trình mô phỏng để đảm bảo áp suất đầu ra của dòng permeate gas cấp cho nồi hơi đạt yêu cầu (5 barg) [3].

2.2.2. Tính toán thiết bị ejector

Một số giả thiết được sử dụng để xây dựng mô hình tính toán [5, 6]:

+ Mô hình 1 chiều, dòng chảy ổn định, đoạn nhiệt. Chất lưu đi vào và ra khỏi gas ejector ở trạng thái bão hòa.

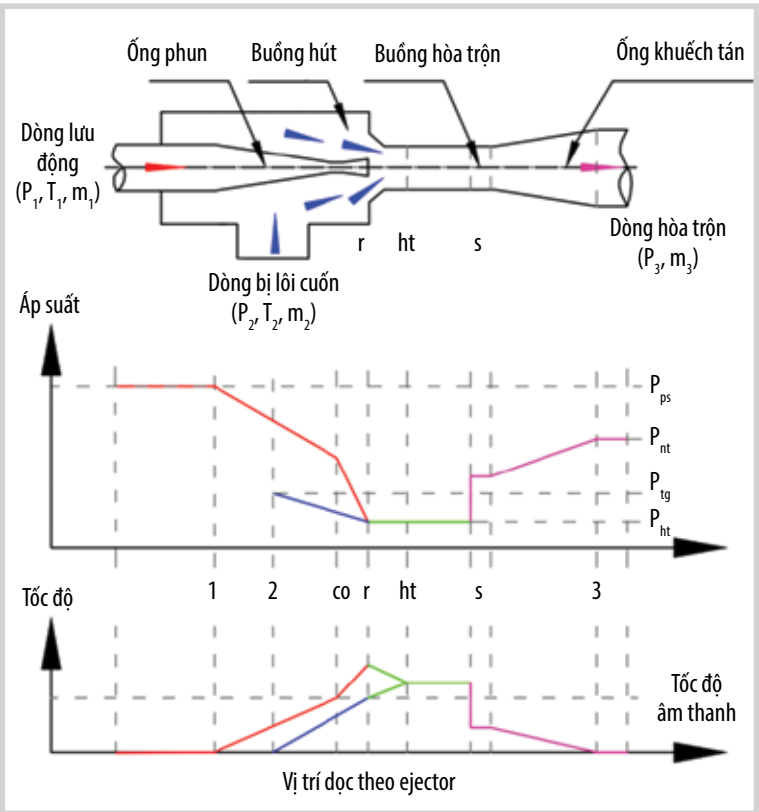
+ Tốc độ dòng chất lưu đi vào ống phun và tốc độ dòng môi chất ra khỏi ống khuếch tán bằng 0.

+ Quá trình hòa trộn 2 dòng chất lưu xảy ra trong buồng hòa trộn, bắt đầu từ vị trí điểm "r" đến vị trí điểm "ht". Quá trình hòa trộn này được xem như xảy ra tại áp suất không đổi ($P_{ht} = P_r$).

+ Dòng bị cuốn đạt tốc độ âm thanh tại vị trí điểm "r".

+ Hiệu suất ống phun và hiệu suất ống hút được chọn là 0,9.

+ Hiệu suất quá trình khuếch tán được chọn là 0,8. Hiệu suất này bao gồm cả quá trình tăng áp đột ngột và quá trình tăng áp trong ống khuếch tán.



Hình 4. *Cấu hình hệ thống permeate gas ejector lắp đặt tại Nhà máy Đạm Cà Mau.*

Các bước tính toán thiết kế ejector được trình bày như sau [5, 6]:

Bước 1: Thông lượng khối lượng dòng lưu động tại cổ ống (điểm "co"):

$$G_{co} = \frac{c_{co}}{v_{co}} = \frac{\sqrt{2(h_1 - h_{co})}}{v_{co}} = \frac{\sqrt{2\theta_1(h_1 - h_{co,de})}}{v_{co}} \quad (1)$$

Trong đó:

$h_{co,de} = f(s_1, P_{co})$: Enthalpy đẳng entropy của môi chất tại điểm "co";

s_1, h_1: Lần lượt là entropy và enthalpy của môi chất tại điểm 1;

h_{co}, c_{co}, v_{co}: Lần lượt là enthalpy, tốc độ và thể tích riêng của dòng lôi cuốn tại "co";

θ_1: Hiệu suất ống phun, chọn $\theta_1 = 0,9$.

Áp suất môi chất tại cổ ống P_{co} được lặp cho đến khi G_{co} đạt giá trị cực đại.

Bước 2: Thông lượng khối lượng dòng bị cuốn tại cửa ra (điểm "r"):

$$G_{2r} = \frac{c_{2r}}{v_{2r}} = \frac{\sqrt{2(h_2 - h_{2r})}}{v_{2r}} = \frac{\sqrt{2\theta_2(h_2 - h_{2r,de})}}{v_{2r}} \quad (2)$$

Trong đó:

$h_{2r,de} = f(s_2, P_r)$: Enthalpy đẳng entropy của môi chất tại điểm "r";

s_2, h_2: Lần lượt là entropy và enthalpy của môi chất tại điểm 2;

h_{2r}, c_{2r}, v_{2r}: Lần lượt là enthalpy, tốc độ và thể tích riêng của dòng bị cuốn tại "r";

θ_2: Hiệu suất ống hút, chọn $\theta_2 = 0,9$.

Áp suất tại cửa ra ống phun P_r được lặp cho đến khi G_{2r} đạt giá trị cực đại.

Bước 3: Quá trình hòa trộn "ht" được tính toán dựa trên các phương trình bảo toàn khối lượng moment:

$$h_{1r} + \omega h_{2r} = (1 + \omega)h_{ht} \quad (3)$$

$$c_{1r} + \omega c_{2r} = (1 + \omega)c_{ht} \quad (4)$$

Trong đó:

$h_{1r} = f(s_1, P_r)$: Enthalpy của dòng lưu động tại điểm "r";

$c_{1r} = \sqrt{2(h_3 - h_{ht})}$: Tốc độ dòng lưu động tại cửa phun;

h_{ht}, c_{ht}: Lần lượt là enthalpy, tốc độ của dòng hòa trộn.

Bước 4: Tốc độ của dòng hòa trộn có thể được tính theo công thức:

$$c_{ht} = \sqrt{2(h_3 - h_{ht})} = \sqrt{2\theta_{kt}(h_3 - h_{ht,de})} \quad (5)$$

Trong đó:

$h_{ht,de} = f(s_{ht}, P_3)$: Enthalpy đẳng entropy của dòng hòa trộn;

$s_{ht} = f(h_{ht}, P_{ht})$: Entropy của dòng hòa trộn;

h_3, P_3: Lần lượt là enthalpy và áp suất tại điểm 3;

θ_{kt}: Hiệu suất quá trình khuếch tán, chọn $\theta_2 = 0,8$.

Bước 5: Tỷ lệ cuốn của ejector là tỷ số lưu lượng khối lượng giữa dòng bị cuốn và dòng lưu động:

$$\omega = \frac{m_2}{m_1} \quad (6)$$

Bước 6: Đường kính cổ ống phun, cửa ra ống phun và đường kính thân ống được tính toán theo các công thức dưới đây:

$$d_{co} = \sqrt{\frac{4A_{co}}{\pi}} = \sqrt{\frac{4m_1}{\pi G_{co}}} \quad (7)$$

$$d_{1r} = \sqrt{\frac{4A_{1r}}{\pi}} = \sqrt{\frac{4m_1 v_{1r}}{\pi c_{1r}}} \quad (8)$$

$$d_{ht} = \sqrt{\frac{4A_{ht}}{\pi}} = \sqrt{\frac{4(m_1+m_2)v_{ht}}{\pi c_{ht}}} \quad (9)$$

Trong đó: A, d lần lượt là tiết diện và đường kính ống tại điểm đang xét.

Bước 7: Tỷ lệ diện tích là tỷ số giữa diện tích mặt cắt buồng hòa trộn và diện tích mặt cắt cổ ống:

$$TLDT = \frac{A_{ht}}{A_{co}} = \left(\frac{d_{ht}}{d_{co}}\right)^2 \quad (10)$$

$$TLDT = \frac{G_{co}v_{ht}}{c_{ht}} \times \frac{(m_1+m_2)}{m_1} = \frac{G_{co}v_{ht}}{c_{ht}} \times (1+\omega) \quad (11)$$

Kết quả tính toán cho thiết bị ejector lắp đặt tại Nhà máy Đạm Cà Mau được trình bày trong Bảng 4 [3].

2.2.3. Tính toán FCV [3, 7]

Tính toán lựa chọn FCV sẽ sử dụng C_V (hằng số van) theo các bước sau:

Bước 1: Lựa chọn phương trình thích hợp:

$$w = 7320 F_P C_V P_1 Y \sqrt{\frac{x}{M_W T_1 Z}} \quad (12)$$

Trong đó:

w: Lưu lượng khí;

F_P: Hằng số hình học đường ống;

C_V: Hằng số van;

Y: Hằng số giãn nở;

x: Tỷ lệ độ giảm áp;

P_1: Áp suất tuyệt đối đầu vào;

T_1: Nhiệt độ tuyệt đối đầu vào;

M_w: Khối lượng phân tử;

Z: Hệ số nén.

Bước 2: Kiểm tra dòng tiết lưu

- Hằng số nhiệt dung:

$$F_k = \frac{k}{1,4} \quad (13)$$

Trong đó:

F_k: Hằng số nhiệt dung;

k: Tỷ lệ nhiệt dung (k = 1,31 đối với khí tự nhiên).

- Tỷ số độ giảm áp với áp suất tuyệt đối đầu vào:

$$x = \frac{\Delta P}{P_1} \quad (14)$$

Trong đó:

x: Tỷ số độ giảm áp với áp suất tuyệt đối đầu vào;

$\Delta P = (P_1 - P_2)$: Độ giảm áp;

P_1: Áp suất đầu vào;

P_2: Áp suất đầu ra.

Bảng 4. *Kết quả tính toán ejector*

TT	Thông số tính toán	Dòng	Giá trị (inch)	Công suất maximum (Sm^3/giờ)	Áp suất (barg)
1	Đường kính ống vào	Motive gas	4	6.961,9	39,5
2	Đường kính ống hút	Permeate gas	6	2.450,0	3
3	Đường kính ống phun	Fuel gas cấp cho boiler	8	9.411,9	5,12

Bước 3: Tính toán hằng số giãn nở

$$Y = 1 - \frac{x}{3F_k x_T} \quad (15)$$

Bước 4: Xác định hệ số nén

- Áp suất quy đổi:

$$P_r = \frac{P_1}{P_c} \quad (16)$$

Trong đó:

P_r: Áp suất quy đổi;

P_1: Áp suất đầu vào;

P_c: Áp suất tiêu chuẩn (667,4 psia).

- Nhiệt độ quy đổi:

$$T_r = \frac{T_1}{T_c} \quad (17)$$

Trong đó:

T_r: Nhiệt độ quy đổi;

T_1: Nhiệt độ đầu vào;

T_c: Nhiệt độ tiêu chuẩn (342,8 R).

- Từ P_r và T_r, tính hệ số nén Z.

Bước 5: Tính C_V: Sử dụng phương trình ở Bước 1 để tính toán C_V (giả sử $F_p = 1$).

Bước 6: Lựa chọn kích thước thân van dựa vào C_V. Từ bảng C_V lựa chọn kích thước van bé nhất chúng sẽ được tính toán bằng tay.

Bước 7: Tính toán hằng số hình học đường ống.

Bước 8: Kết thúc tính toán C_V.

Bước 9: Tính toán số Mach:

$$M(gas) = \frac{Q_a}{5574 A_v \sqrt{\frac{kT}{M_W}}} \quad (18)$$

Trong đó:

M: Số Mach;

Q_a: Lưu lượng thực;

A_v: Tiết diện dòng sử dụng;

k: Hằng số nhiệt dung (k = 1,31);

T: Nhiệt độ tuyệt đối;

M_w: Khối lượng phân tử.

Bước 10: Tính toán lại C_V nếu kích thước thân van thay đổi.

Kết quả tính toán cho các van điều khiển FCV được trình bày trong Bảng 5 [3].

2.2.4. Tính toán PSV [3, 7]

Van an toàn (PSV) sẽ được thiết kế, tính toán dựa theo tiêu chuẩn API RP 520 và API 526 (lựa chọn loại van).

Diện tích xả yêu cầu qua thiết bị được xác định theo công thức sau:

$$A = \frac{W}{C k_d P_1 k_b k_c} \sqrt{\frac{TZ}{M_W}} \quad (19)$$

Trong đó:

A: Diện tích xả yêu cầu qua thiết bị;

W: Lưu lượng xả qua thiết bị;

C: Hằng số được xác định từ hệ số nhiệt dung;

k_d: Hệ số xả hiệu dụng, thường sử dụng giá trị k_d = 0,975;

P_1: Áp suất xả;

k_b: Hệ số hiệu chỉnh do dội áp, thường sử dụng giá trị $k_b = 1$;

k_c: Hệ số hiệu chỉnh khi sử dụng van an toàn kết hợp với đĩa nổ an toàn (rupture disk); khi không lắp rupture disk thì $k_c = 1$;

T: Nhiệt độ xả của khí;

Z: Hệ số nén khí;

M_w: Khối lượng phân tử khí.

Dựa vào công thức trên, tính toán được bề mặt xả, A đáp ứng được lưu lượng qua van an toàn. Van an toàn được lựa chọn theo tiêu chuẩn API Std 526 phải có bề mặt xả hiệu dụng lớn hơn hoặc bằng bề mặt xả (A) tính toán ở trên.

Kết quả tính toán cho van bảo vệ an toàn PSV được trình bày trong Bảng 6 [3].

Bảng 5. *Kết quả tính toán van FCV*

TT	Tên van	Lưu lượng maximum (kg/giờ)	Kích thước van (inch)	Giá trị C_V	Kích thước trước/sau van (inch)
1	41FV1011	2.888	4	171,47	6/6
2	41FV1010	5.361	2	10,47	4/4

Bảng 6. Kết quả tính toán van PSV

TT	Tên van	Lưu lượng xả (kg/giờ)	Lưu lượng xả maximum (kg/giờ)	Diện tích yêu cầu (in^2)	Diện tích lựa chọn (in^2)	Kích thước van (inch)
1	41PSV1011	2.888	4.169,03	0,892	1,287	2J3

Bảng 7. Kết quả tính toán đường vào/ra van PSV

TT	Tên đường	Mô tả	Kích thước lựa chọn (inch)
1	4FG41007aBB1N	Đường vào PSV	4
2	4FL41004aBB1N	Đường xả sau PSV	4

Bảng 8. Kết quả tính toán đường ống cấp permeate gas

Đường ống cấp permeate gas từ Nhà máy Xử lý khí Cà Mau sang Nhà máy Đạm Cà Mau	Đường kính (inch)	Lưu lượng (Sm^3/giờ)	Nhiệt độ vào (°C)	Áp suất vào (barg)	Nhiệt độ ra (°C)	Áp suất ra (barg)	Vận tốc dòng (m/giây)	Trở lực (bard)
	8	140.000	42,9	2,7	42,47	2,066	15,37	0,634

Kết quả tính toán lựa chọn kích thước đường vào và đường ra van PSV được trình bày trong Bảng 7 [3].

2.2.5. Tính toán đường ống [3, 7]

Theo tiêu chuẩn Norsok và ASME B31.8, kích thước ống được lựa chọn dựa vào các điều kiện sau đây:

- Vận tốc lớn nhất cho phép trong ống không vượt quá 100 ft/giây (30,5 m/giây) (tiêu chuẩn ASME B31.8).

- Tổn thất áp suất lớn nhất cho phép trong 100 m ống không vượt quá 27 kPa (tiêu chuẩn Norsok).

Công thức tính toán cho đường ống được sử dụng như dưới đây:

- Vận tốc dòng khí trong ống như sau:

$$V = \frac{4 \times Q}{\pi \times d^2} \quad (20)$$

Trong đó:

V: Vận tốc dòng khí trong ống;

d: Đường kính trong của ống;

Q: Lưu lượng khí;

- Công thức tính tổn thất áp suất:

Theo công thức của Darcy (Engineering Data Book) thì tổn thất áp suất được tính theo công thức sau:

$$\Delta P_{100} = \frac{W^2}{\rho}\left(\frac{62.530 \times 100 \times f}{d^5}\right) \quad (21)$$

với f là hệ số ma sát.

$$f = 2 \times \left[\left(\frac{8}{Re}\right)^{12} + \frac{1}{(C_1 + C_2)^{1,5}}\right]^{0,0833 \times 4} \quad (22)$$

$$C_1 = \left\{2,457 ln\left[\frac{1}{\left(\frac{7}{Re}\right)^{0,9} + 0,27 \times \frac{\varepsilon}{d}}\right]\right\}^{16} \quad (23)$$

$$C_2 = \left(\frac{37.530}{Re}\right)^{16} \quad (24)$$

$$Re = \frac{D \times v \times \rho}{\mu} \quad (25)$$

Trong đó:

W: Lưu lượng;

f: Hệ số ma sát;

ΔP100: Tổn thất áp suất mỗi 100 m đường ống;

L: Chiều dài ống;

Z: Hệ số nén của khí;

d: Đường kính trong của ống;

ρ: Khối lượng riêng của khí;

ε: Độ nhám của vật liệu ống;

μ: Độ nhớt của chất khí;

Re: Hệ số Reynold.

Bảng 8 thể hiện kết quả tính toán mô phỏng đường ống chính cấp permeate gas từ Nhà máy Xử lý khí Cà Mau sang Nhà máy Đạm Cà Mau [8].

2.3. Phương án đảm bảo an toàn

Để đảm bảo triển khai dự án một cách an toàn, Tổng công ty Khí Việt Nam (PV GAS) và Công ty cổ phần Phân bón Dầu khí Cà Mau (PVCFC) đã xây dựng và thực hiện đồng thời nhiều giải pháp nhằm kiểm soát rủi ro và nâng cao mức độ an toàn trong toàn bộ quá trình thực hiện. Cụ thể như sau:

- Tăng cường phối hợp giữa các bên liên quan: Ngay từ giai đoạn nghiên cứu ban đầu, 2 đơn vị đã thiết lập cơ chế trao đổi thông tin thường xuyên, cập nhật liên tục về tiến độ, thông số kỹ thuật và các yêu cầu công nghệ. Việc lựa chọn phương án công nghệ đều được thực hiện thông qua tham vấn và thống nhất chung, đảm bảo tính khả thi và an toàn tối đa cho toàn hệ thống.

- Đánh giá rủi ro toàn diện theo phương pháp Phân tích mối nguy và khả năng vận hành (Hazard and Operability Study - HAZOP): Một trong những hoạt động trọng yếu được thực hiện là tổ chức đánh giá an toàn vận hành theo phương pháp HAZOP cho toàn bộ hệ thống đường ống dẫn khí từ Nhà máy Xử lý khí Cà Mau đến Nhà máy Đạm Cà Mau theo tài liệu mã số C-KL-0150-WR-001. Quá trình này giúp nhận diện sớm các mối nguy tiềm ẩn, phân tích nguyên nhân - hậu quả và đưa ra các biện pháp kiểm soát thích hợp nhằm phòng ngừa sự cố và đảm bảo vận hành liên tục, an toàn.

- Chạy thử đồng bộ toàn hệ thống: Hệ thống dẫn permeate gas từ Nhà máy Xử lý khí Cà Mau sang Nhà máy Đạm Cà Mau đã được đưa vào chạy thử an toàn, phù hợp với các kịch bản mô phỏng trong giai đoạn thiết kế.

Thông qua việc áp dụng các biện pháp kỹ thuật và tổ chức nêu trên, dự án không chỉ đáp ứng các tiêu chuẩn an toàn của ngành dầu khí mà còn đảm bảo tiến độ triển khai, góp phần vào hiệu quả hoạt động chung của cả 2 đơn vị.

3. Phương án bố trí thiết bị và đường ống [3]

3.1. Vị trí các điểm đấu nối Tie-in

Permeate gas sẽ được lấy sau bình tách khí nhiên liệu thấp áp (low pressure fuel gas) để giảm tối thiểu ảnh hưởng tới thiết bị màng lọc (membrane skid), vị trí lấy permeate gas như Hình 5.

3.2. Vị trí các điểm đấu nối phụ trợ (nhóm Instrument)

Hình 6 thể hiện sử dụng cable tray/ladder hiện có cho tuyến cable về phòng điều khiển.

Hình 5. *Vị trí lấy permeate gas.*

Hình 6. *Cable tray/ladder hiện có được sử dụng cho tuyến cable về phòng điều khiển.*

Hình 7 thể hiện vị trí nguồn cấp instrument air. Instrument air cung cấp cho các shutdown valve, control valve sẽ được cấp từ các đầu chờ dự phòng hiện có.

Các thông số chính của hệ thống thiết bị công nghệ được lựa chọn tối ưu theo Bảng 9.

4. Đánh giá hiệu quả của giải pháp

4.1. Hiệu quả kinh tế

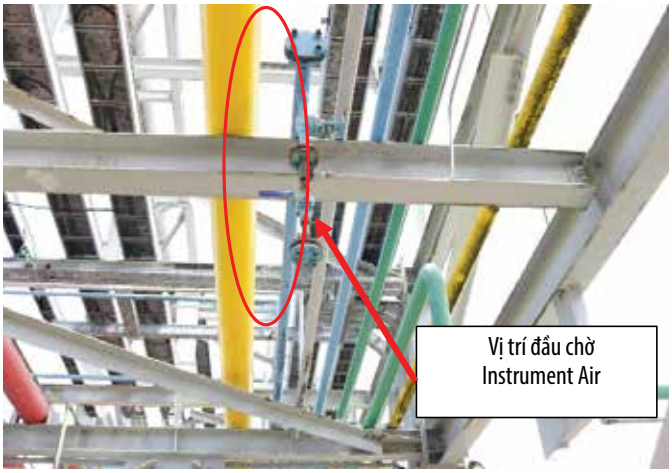
Dựa trên số liệu sản lượng, nhiệt trị khí, giá khí mua/bán, chi phí vận hành và bảo dưỡng sửa chữa, chi phí khấu hao và tỷ giá từ năm 2019 - 2025, giá trị làm lợi của giải pháp được tính toán như Bảng 10.

4.2. Hiệu quả môi trường

Bên cạnh những lợi ích rõ rệt về mặt kinh tế như tận dụng nguồn khí sẵn có, giảm chi phí nhiên liệu đầu vào và tối ưu hóa hiệu suất vận hành, giải pháp thu hồi và sử dụng permeate gas còn mang lại giá trị lớn về mặt môi trường gồm:

- Giảm phát thải khí nhà kính: Thay vì đốt bỏ, lượng permeate gas được tận dụng làm nhiên liệu đầu vào cho Nhà máy Đạm Cà Mau. Theo tính toán, điều này giúp giảm khoảng 42.280 tấn CO_2 tương đương mỗi năm - góp phần đáng kể vào mục tiêu giảm phát thải của ngành dầu khí (Bảng 11).

- Phù hợp định hướng phát triển bền vững: Giải pháp này là minh chứng rõ ràng cho định hướng phát triển kinh tế xanh, tuần hoàn và giảm phát thải carbon trong chuỗi sản



Hình 7. *Vị trí nguồn cấp instrument air.*

Bảng 9. *Các tham số chính của hệ thống công nghệ được lựa chọn*

STT	Tham số chính	Đơn vị	Số lượng	Kết quả tính toán sơ bộ cho thiết bị
1	Ejector	Cái	1	- Công suất: 2.450 Sm^3/giờ - Ống vào: 4 inch - Ống hút: 6 inch - Ống phun: 8 inch
2	FCV	Van	2	- 1 van kích thước 4 inch - 1 van kích thước 2 inch
3	PSV	Van	1	Size 2J3
4	SDV	Van	3	- 1 van đặt tại Nhà máy Xử lý khí Cà Mau - 2 van đặt tại Nhà máy Đạm Cà Mau
5	Permeate gas	Dòng	1	Lưu lượng 2.450 Sm^3/giờ
6	Khí tự nhiên tại Nhà máy Đạm Cà Mau	Dòng	1	Lưu lượng 6.961,9 Sm^3/giờ
7	Thiết bị đo lưu lượng	Cụm	1	Đặt tại Nhà máy Xử lý khí Cà Mau
8	Đường ống	Đường ống	1	8 inch, lắp trên piperack có sẵn

Bảng 10. *Hiệu quả kinh tế của giải pháp cung cấp permeate gas cho Nhà máy Đạm Cà Mau*

	2019(1)	2020	2021	2022	2023	2024	2025(2)
Lượng permeate gas cung cấp (kSm^3/giờ)	19.264	23.446	18.480	18.355	19.964	12.933	2.473
Giá trị làm lợi cho PV GAS (tỷ đồng)	13,1	17,6	9,1	7,3	11,9	7,8	1,4
Giá trị làm lợi cho PVCFC (tỷ đồng)(3)	28,0	22,6	35,4	31,8	47,9	31,8	6,5
Giá trị làm lợi cho PVN (tỷ đồng)	41,1	40,2	44,5	39,1	59,8	39,6	7,9

(1) Từ tháng 3 đến tháng 12 năm 2019; (2) Trong 6 tháng đầu năm 2025;

(3) Giá trị làm lợi của PVCFC ước tính bằng giá trị lượng khí đầu vào tiết giảm trừ đi chi phí mua permeate gas.

Bảng 11. *Hiệu quả môi trường của giải pháp thu hồi và sử dụng permeate gas*

Chỉ số	Đơn vị	Giá trị
Lưu lượng permeate gas cung cấp cho PVCFC	kSm^3/năm	22.200
Hệ số quy đổi giữa khí nhiên liệu và CO_2 (1)		1,0193
Lưu lượng CO_2 sau khi đốt	kSm^3/năm	22.628
Khối lượng CO_2 tận dụng	tấn	42.280

(1) Hệ số quy đổi giữa khí nhiên liệu và CO_2 được tính như sau:

Bảng 12. *Hệ số quy đổi giữa khí nhiên liệu và CO_2*

Thành phần	%mol	Hệ số C	Quy đổi CO_2 sau phản ứng cháy
N_2	1,07	0	0
CO_2	37,40	1	37,40
C_1	58,57	1	58,57
C_2	2,92	2	5,84
C_3	0,04	3	0,12
Tổng	100		101,93

xuất công nghiệp. Đây cũng là bước đi cụ thể thể hiện trách nhiệm xã hội và môi trường của các đơn vị trong ngành dầu khí.

5. Kết luận

Giải pháp sử dụng gas ejector để thu hồi và vận chuyển dòng permeate gas từ Nhà máy xử lý khí Cà Mau sang Nhà máy Đạm Cà Mau đã được chứng minh tính hiệu quả rõ rệt về kỹ thuật, kinh tế và môi trường. Thiết bị ejector cho phép lôi cuốn dòng permeate gas áp suất thấp (khoảng 3 barg) bằng dòng khí tự nhiên áp suất cao (~39,5 barg) để tạo ra dòng khí hỗn hợp đáp ứng yêu cầu vận hành lò đốt (≥ 5 barg) mà không cần sử dụng máy nén. Nhờ đó, toàn bộ lượng permeate gas dư thừa tương đương 90 - 100 kSm^3/ngày trước đây phải đốt bỏ đã được tận dụng hiệu quả.

Về mặt kinh tế, việc thay thế một phần khí tự nhiên bằng permeate gas đã mang lại hiệu quả kinh tế đáng kể. Trong giai đoạn 2019 - 2024, hệ thống cung cấp tổng lượng permeate gas là 106.142 kSm^3, tổng giá trị làm lợi cho PV GAS 66,8 tỷ đồng và 197,5 tỷ đồng cho PVCFC. Tổng giá trị mang lại cho PVN đạt 264,3 tỷ đồng thể hiện tính bền vững của giải pháp trong tối ưu nguồn năng lượng đầu vào.

Về môi trường, việc tận dụng permeate gas thay vì đốt flare góp phần giảm đáng kể phát thải khí nhà kính. Với lượng permeate gas cung cấp khoảng 22.200 kSm^3/năm, hệ số quy đổi giữa khí nhiên liệu và CO_2 là 1,0193, tận dụng 42.280 tấn CO_2 mỗi năm. Tổng thể, giải pháp thu hồi permeate gas sử dụng gas ejector là phương án kỹ thuật hiệu quả, kinh tế và thân thiện môi trường. Đây là mô hình có tính thực tiễn cao, phù hợp để nhân rộng tại các nhà máy xử lý khí có dòng khí permeate tương tự nhằm nâng cao hiệu quả sử dụng tài nguyên và giảm phát thải trong toàn chuỗi giá trị khí - đạm.

Tài liệu tham khảo

[1] PV GAS, *"Báo cáo sáng kiến cung cấp permeate gas từ Nhà máy xử lý khí Cà Mau sử dụng cho Nhà máy Đạm Cà Mau năm 2019"*, 2019.

[2] Tổng công ty Dung dịch khoan và Hóa phẩm dầu khí, *"Báo cáo tổng kết: Nghiên cứu sử dụng nguồn khí Permeate gas của GPP Cà Mau cho Nhà máy Đạm Cà Mau"*, 2017.

[3] J.R. Calvert and Roy A. Farrar, *An engineering data book, 3rd edition*. Bloomsbury, 2008.

[4] PV Gas Project Management Company, *"Supply of permeate gas to Ca Mau fertilizer plant - Process simulation report"*, 2018.

[5] PV GAS, *"Permeate gas recovery from GPP Ca Mau - P&ID and PFD"*, 2017.

[6] B.J. Huang, J.M. Chang, C.P. Wang, and V.A. Petrenko, "A 1-D analysis of ejector performance", *International Journal of Refrigeration*, Volume 22, Issue 5, pp. 354 - 364, 1999. DOI: 10.1016/S0140-7007(99)00004-3.

[7] Nguyễn Văn Bình, Phạm Tuấn Anh, Nguyễn Trường Giang, và Nguyễn Duy Hải, "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", *Tạp chí Dầu khí*, Số 3, trang 30 - 38, 2021. DOI: 10.47800/PVJ.2021.03-04.

[8] Nguyen Trung Kien and Le Chi Hiep, "Thermodynamic analysis of an ejector-vapour compressor cascade refrigeration system", *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, Volume 141, pp. 2189 - 2200, 2020. DOI: 10.1007/s10973-020-09635-6.

TECHNICAL SOLUTION FOR SUPPLYING PERMEATE GAS FROM CA MAU GAS PROCESSING PLANT TO CA MAU FERTILIZER PLANT

Dang Duc Thuyet, Le Xuan Thang, Duong Xuan Thao, Tran Huy Thuc, Nguyen Hong Quang, Mai Vu Hoang, Nguyen Ho Cam
Petrovietnam Gas Joint Stock Corporation (PV GAS)
Email: thuyet.dd@pvgas.com.vn

Summary

At Ca Mau Gas Processing Plant, the CO_2 adjustment skid produces approximately 140 kSm^3/day of permeate gas, of which 40 - 50 kSm^3/day is consumed as low-pressure fuel gas for heating systems. The remaining permeate gas of 90 - 100 kSm^3/day is discharged to the flare, where it is burned along with gases associated with the processing. In order to recover and utilize the whole of permeate gas, the research team proposed a technological solution using a gas ejector to transfer the permeate gas to Ca Mau Fertilizer Plant. The recovered gas is then blended with natural gas and used as feedstock for urea production. This solution demonstrates the efficient utilization of permeate gas, optimizes the use of fuel sources and reduces greenhouse gas emissions.

Key words: Permeate gas, gas recovery and utilization, gas ejector, Ca Mau Gas Processing Plant, Ca Mau Fertilizer Plant.