TẠP CHÍ DẦU KHÍ
Số 5 - 2020, trang 14 - 24
ISSN 2615-9902

NGHIÊN CỨU XÂY DỰNG MÔ HÌNH MÔ PHỎNG ĐỘNG LỰC HỌC CHẤT LỎNG TÍNH TOÁN (CFD) CHO THIẾT BỊ EJECTOR SỬ DỤNG NÂNG CAO TỶ LỆ THU HỒI MỎ KHÍ CONDENSATE HẢI THẠCH

Trần Ngọc Trung[1], Triệu Hùng Trường[2], Ngô Hữu Hải[1], Trần Vũ Tùng[1], Lý Văn Dao[1]
[1]Công ty Điều hành Dầu khí Biển Đông
[2]Đại học Mỏ - Địa chất
Email: trungtn@biendongpoc.vn

Tóm tắt

Trong lĩnh vực khai thác khí và condensate, việc xử lý dòng lưu chất phụ thuộc vào áp suất từng giếng và áp suất tại đầu vào hệ thống công nghệ xử lý. Để có thể tiếp tục thu hồi khí và condensate tại các giếng đã suy giảm áp suất đồng thời với các giếng khác vẫn cho sản lượng và áp suất ổn định, thông thường các phương pháp sử dụng thiết bị bề mặt được nghiên cứu đánh giá tính khả thi về kỹ thuật cũng như đảm bảo hiệu quả kinh tế. Hai phương án dùng thiết bị bề mặt thông thường là máy nén khí ướt 3 pha và Ejector. So với việc sử dụng máy nén khí ướt thì phương án sử dụng Ejector mang lại nhiều lợi ích như chi phí đầu tư và vận hành thấp, đây là một thiết bị có cấu tạo gọn nhẹ, độ tin cậy cao và thân thiện môi trường. Tuy nhiên, để đưa đến quyết định đầu tư thì cần phải có một mô hình tin cậy giúp phân tích khả năng làm việc, hiệu suất hoạt động cũng như tính toán chính xác tỷ lệ sản phẩm thu hồi được gia tăng. Trong nghiên cứu này, kết quả của mô hình CFD sử dụng hỗn hợp khí cũng được so sánh với mô hình tương đương chỉ sử dụng methane. Sự khác biệt của 2 mô hình được sử dụng để phân tích tính chính xác và hiệu quả của việc nghiên cứu áp dụng Ejector khí tự nhiên gia tăng thu hồi cho giếng suy giảm áp suất. Dòng chảy của lưu chất bên trong thiết bị Ejector được mô phỏng dựa trên mô hình rối k-ε Re-Normalization Group. Chất lưu là hỗn hợp khí tự nhiên có thành phần cấu tử theo điều kiện mỏ Hải Thạch. Phương trình khí thực Peng-Robison tính toán tỷ trọng hỗn hợp khí.

Từ khóa: Ejector, mô hình CFD, nâng cao thu hồi khí/condensate, mỏ Hải Thạch.

1. Giới thiệu

Việc duy trì khai thác đồng thời nhiều giếng khí condensate đặt ra thách thức lớn trong điều kiện áp suất đầu vào hệ thống xử lý khí là không thay đổi (tỷ số nén cố định khi thiết kế hệ thống). Khi áp suất bề mặt giảm xuống dưới áp suất đầu vào của hệ thống xử lý, giếng sẽ không còn khả năng khai thác khi dòng chảy tự nhiên của giếng không được duy trì. Lúc này, lượng khí của các giếng thấp áp có thể phải bị đốt cháy dưới dạng khí thải hoặc hệ thống công nghệ phải lắp đặt thêm máy nén khí 3 pha trung gian để tiếp tục duy trì sản xuất. Phương án sử dụng máy nén khí tự nhiên 3 pha trung gian để tạo dòng chảy vào hệ thống xử lý cho các giếng này đòi hỏi chi phí đầu tư và vận hành cao, tốn kém thời gian triển khai.

Trong khi đó, thiết bị Ejector có thể giải quyết bài toán trên bằng việc sử dụng dòng khí dẫn động từ các giếng có áp suất cao hoặc đầu ra của hệ thống xử lý khí có áp suất cao hơn cả áp suất đường ống vận chuyển. Ngoài ra trong nhiều trường hợp, thiết bị Ejector còn sử dụng năng lượng dẫn động từ nguồn sơ cấp là giếng áp suất cao để có thể tận dụng tối đa năng lượng tự nhiên từ trong vỉa và hoàn toàn không cần thêm nguồn năng lượng nào khác hay sản sinh thêm chất thải ra ngoài môi trường.

Trên thế giới đã có các nghiên cứu về tính khả thi và hiệu quả của Ejector trong việc gia tăng thu hồi cho các giếng dầu khí ở cuối chu kỳ khai thác. Nhóm tác giả đã nghiên cứu xây dựng mô hình mô phỏng dòng chảy lưu chất bên trong thiết bị bề mặt Ejector để đưa ra thông số hoạt động tối ưu nhất, giúp gia tăng khả năng thu hồi khí condensate. Mô phỏng hỗn hợp với thành phần cấu tử của khí tự nhiên tương tự như phương án đang được nghiên cứu tại mỏ Hải Thạch. Tỷ trọng hỗn hợp khí được tính toán theo phương trình khí thực Peng Robison. Trong số rất nhiều các mô hình dòng chảy rối, nhóm tác giả lựa chọn mô hình k-ε Re-Normalization Group.

Ngày nhận bài: 23/4/2020. Ngày phản biện đánh giá và sửa chữa: 23/4 - 8/5/2020.
Ngày bài báo được duyệt đăng: 8/5/2020.

2. Cơ sở lý thuyết và phương pháp nghiên cứu

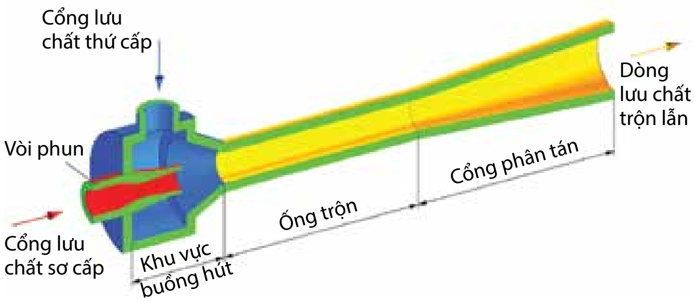
2.1. Nguyên lý vận hành của thiết bị Ejector

Ejector đã được ứng dụng trong các lĩnh vực công nghiệp khác nhau. Ejector là thiết bị hướng dòng đơn giản với 2 cổng lưu chất đầu vào (Primary/Secondary Flow - Cổng lưu chất sơ cấp/thứ cấp) và 1 cổng phân tán (Diffuser). Nguyên lý cơ bản của thiết bị là tạo ra áp suất âm tại khu vực buồng hút bằng cách cho dòng chảy lưu chất áp suất cao đi qua khe hở hẹp để hút dòng áp suất thấp tại cổng thứ cấp. Sau đó, 2 dòng chảy lưu chất được trộn bên trong khoang đầu vào (suction chamber), ống trộn (mixing tube/chamber) và phân tán ở một số áp suất trung gian được xem là áp suất ngược (back pressure, P_b) hay còn gọi là áp suất đầu ra (discharge pressure). Áp suất chân không tạo ra lực hút lưu chất tại cổng thứ cấp, được sinh ra bằng cách tăng tốc độ của dòng chảy lưu chất sơ cấp đi qua vòi phun hội tụ. Về cơ bản, Ejector có 5 bộ phận: vòi phun hội tụ, buồng hút, buồng trộn, bộ phận phân tán như Hình 1 [1].

Trong lĩnh vực dầu khí, Ejector được nghiên cứu để gia tăng thu hồi cho các giếng ở cuối chu kỳ khai thác, thu hồi khí bay hơi (có nhiệt trị cao) của tàu chứa dầu tải mỏ hoặc ứng dụng vào việc hút các chất lỏng ngưng tụ cận đáy giếng. Các Ejector được sử dụng với các loại lưu chất mà không cần đến chất bôi trơn, chỉ gồm các chi tiết thụ động đơn giản, đáng tin cậy, chi phí thấp và gần như không cần bảo trì. Tuy nhiên, đây là thiết bị có hiệu suất thấp và phụ thuộc vào rất nhiều vào các yếu tố thiết kế và vận hành [2].

2.2. Tính khả thi của nghiên cứu gia tăng thu hồi cho mỏ dầu và khí/condensate bằng thiết bị Ejector

Trên thế giới, thiết bị Ejector đã được nghiên cứu triển khai và ứng dụng rộng rãi trong ngành công nghiệp khai thác khí tự nhiên và ứng dụng gia tăng thu hồi bắt đầu từ những năm 1990 [3, 4]. Một số nghiên cứu điển hình như: Green, Ashton và cộng sự nghiên cứu Ejector trong phòng thí nghiệm và sau đó triển khai thực địa giúp gia tăng khoảng 25% và 41% sản lượng (tương ứng 25 triệu ft^3 chuẩn/ngày và 15 triệu ft^3 chuẩn/ngày) cho các giếng suy giảm áp suất tại 2 giàn tại mỏ Hewwett, Biển Bắc [3]. Marco Villa và cộng sự xây dựng mô hình tính toán kết hợp thực nghiệm tại mỏ Villafortuna, Italy đã giúp gia tăng sản lượng cộng dồn thêm 100.000 thùng dầu và thu hồi vốn đầu tư trong vòng vài tuần [5]. P.Andreussi và cộng sự đã giới thiệu phương pháp nghiên cứu và kết quả thực địa của Ejector đa pha trong ứng dụng gia tăng thu hồi tại vịnh Mexico [6]. Tuy nhiên, Việt Nam vẫn chưa có nghiên cứu hay báo cáo áp dụng nào về Ejector trong ứng dụng gia tăng thu hồi khí/condensate từ phía các cơ sở nghiên cứu và đơn vị sản xuất. Cùng với việc đẩy mạnh khai thác khí, Việt Nam sẽ có nhu cầu rất lớn về ứng dụng tận thu khai thác giếng khí/condensate sử dụng Ejector trong tương lai.



Hình 1. *Sơ đồ mẫu thiết bị Ejector và các chi tiết bên trong [1]*

2.3. Các thông số giúp phân tích và đánh giá hiệu suất hoạt động của thiết bị Ejector

Nhằm phân tích và đánh giá hiệu suất của thiết bị Ejector, thông thường các nghiên cứu sử dụng 2 thông số là tỷ số hút entrainment và tỷ số nén.

$$\omega = \frac{m_s}{m_p} \tag{1}$$

Trong đó:

ω: Tỷ số hút entrainment ratio;

m_s: Khối lượng dòng chảy lưu chất thứ cấp;

m_p: Khối lượng dòng chảy lưu chất sơ cấp.

Ngoài ra, một thông số đặc trưng là tỷ số nén giữa áp suất đầu ra với áp suất đầu vào thứ cấp thường được coi là tỷ số nén đặc trưng của thiết bị:

$$\tau = \frac{P_b}{P_s} \tag{2}$$

Trong đó:

τ: Tỷ số nén;

P_b: Áp suất đầu ra hay áp suất ngược;

P_s: Áp suất tại cổng thứ cấp.

3. Nghiên cứu gia tăng thu hồi khí và condensate cho các giếng suy giảm áp suất tại mỏ Hải Thạch

3.1. Tính cấp thiết của nghiên cứu gia tăng khả năng thu hồi khí và condensate cho các giếng suy giảm áp suất

Các nghiên cứu gần đây đều sử dụng phương pháp mô phỏng CFD để có thể dự đoán chính xác hiệu suất thiết bị và chi tiết dòng chảy, quá trình trộn lẫn bên trong Ejector khí tự nhiên tận thu giếng suy giảm áp suất. Đồng thời, để củng cố các kết quả mô phỏng, các tác giả còn kết hợp kiểm chứng tại thực địa. Các nghiên cứu này đã cung cấp luận cứ khoa học hữu ích cho việc tối ưu thiết kế Ejector cũng như thúc đẩy sản xuất khí tự nhiên. Trong khi đó, tại mỏ Hải Thạch, các giếng khí và condensate sẽ bước vào giai đoạn suy giảm áp suất trong thời gian tới. Có 4 giếng (HT-1X, 2X, 3X và 4X) nằm trong tập vỉa (UMA10) cô lập và nhỏ hơn các tập vỉa khác đang khai thác tại cùng mỏ Hải Thạch. Các giếng này đang suy giảm áp suất rất nhanh sẽ dừng khai thác trong thời gian tới khi áp suất miệng giếng nhỏ hơn áp suất đầu vào hệ thống công nghệ. Ứng dụng của Ejector trong gia tăng thu hồi dầu khí thường sử dụng 2 phương án cơ bản là lấy khí từ đầu ra của máy nén khí hoặc từ giếng cao áp lân cận làm nguồn lưu chất dẫn động:

- Phương án 1 - Dùng khí khô thương mại cao áp tại đầu ra máy nén dẫn động với lưu lượng 40 triệu ft^3 tiêu chuẩn/ngày và áp suất tại 140 bar.

- Phương án 2 - Dùng khí từ giếng có áp suất cao và lưu lượng lớn nhất được sử dụng là HT-5X (áp suất là 180 bar và lưu lượng dẫn động là 10,5 triệu ft^3 tiêu chuẩn/ngày).

3.2. Mô hình động lực học chất lỏng tính toán cho 2 phương án sử dụng Ejector

Phương pháp CFD đã được chứng minh khả năng trong việc phân tích và tối ưu hóa hoạt động của Ejector. Phương pháp mô phỏng động lực học chất lỏng tính toán CFD cho phép nghiên cứu chi tiết về dòng chảy bên trong Ejector, dựa trên việc giải phương trình Navier-Stokes (NS) và biến thể của phương trình này như phương trình Favre-Averaged Navier -Stokes (FANS) hoặc các phương trình Reynolds - Averaged Navier - Stokes nén được (RANS). Nhằm đảm bảo độ chính xác và có thể đạt được 1 nghiệm hội tụ và ổn định cho mô hình, cần phải có kiến thức về các khía cạnh khác nhau của mô phỏng CFD (như mô hình rối - turbulence model) và cách thức khoa học trong xây dựng mô hình (các bước thiết lập mô hình và phương pháp rời rạc hóa).

Phương trình liên tục (Continuity Equation):

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \bar{v}) = 0 \tag{3}$$

Phương trình động lượng (Momentum Equation):

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho \bar{v}) + \nabla \cdot (\rho \bar{v} \bar{v}) = -\nabla p + \nabla \bar{\tau} \tag{4}$$

Phương trình năng lượng (Energy Equation):

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho E) + \nabla \cdot \left(\bar{v}(\rho E + p)\right) = \nabla \cdot (k \nabla T + \bar{\tau} \bar{v}) \tag{5}$$

Mô hình động lực học chất lỏng tính toán cho 2 phương án sử dụng Ejector được xây dựng cho dòng lưu chất chịu nén, dòng rối và trạng thái ổn định. Dòng chảy lưu chất và phương trình truyền nhiệt được lựa chọn là đối xứng qua trục dựa trên cấu tạo vật lý của thiết bị, đồng thời giúp giảm thời gian tính toán cho mô hình. Khu vực cận tường được xử lý dưới dạng "standard wall function" vì đã chứng minh được kết quả chính xác cho các tính toán khu vực cận tường cho dòng chảy lưu chất có Reynold cao [7, 8]. Miền tính toán (boundary condition) cho dòng sơ cấp và thứ cấp theo điều kiện "pressure inlet" trong khi đầu ra của Ejector có miền tính toán là "pressure outlet". Các thông số thiết lập dựa trên giá trị áp suất, nhiệt độ và tỷ lệ hỗn hợp khí tự nhiên cho đường sơ cấp và thứ cấp cho 2 phương án sử dụng khí dẫn động. Toàn bộ khu vực tường của Ejector được coi là đẳng nhiệt và không có trao đổi năng lượng với môi trường bên ngoài do thời gian dòng lưu chất chảy trong cấu tạo là rất nhỏ. Trong số các mô hình dòng chảy rối, nhóm tác giả lựa chọn mô hình k-ε Re-Normalization Group. Theo nghiên cứu của Y.Bartosiewicz và cộng sự [9] và Yinhai Zhu và cộng sự [10] khi đánh giá 6 mô hình dòng chảy rối khác nhau, mô hình k-ε Re-Normalization Group cho kết quả tốt nhất và phù hợp nhất khi dự đoán hiện tượng dòng chảy so với kết quả thí nghiệm. Thuật toán SIMPLE được dùng để xử lý mối quan hệ giữa áp suất và vận tốc dòng lưu chất, trong khi đó tính đối lưu (convective terms) được rời rạc hóa dựa trên phương pháp "second order upwind" [11]. Độ hội tụ được tính toán cho từng vòng lặp. Vòng lặp sẽ dừng lại khi số dư được xác định là nhỏ hơn cho các phương trình liên tục, động lượng và năng lượng.

RNG k - ε transport equation:

$$\frac{\partial}{\partial x_i}(\rho \varepsilon u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j}\left[(\alpha_e \mu_t)\frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j}\right] + C_{1e}\frac{\varepsilon}{k}(G_k + C_{3e}G_b) - C_{2e}\rho\frac{\varepsilon^2}{k} - R_e \tag{6}$$

Ngoài những thông số nêu trên thì tính mới và ưu điểm của mô hình CFD được trình bày trong nghiên cứu này là sử dụng thành phần cấu tử khí tự nhiên và áp dụng phương pháp tính toán độ độc lập cấu trúc mạng lưới GCI.

3.2.1. Sử dụng thành phần cấu tử khí tự nhiên

Mô hình mô phỏng CFD được xây dựng có các thành phần cấu tử khí hydrocarbon tại mỏ Hải Thạch cũng như phương án sử dụng khí dẫn động lấy từ máy nén khí cao áp tại giàn (thành phần cấu tử như Bảng 1. Thành phần cấu tử trong lưu chất dẫn động và lưu chất bị hút). Trong nghiên cứu này, mô hình khí chỉ bao gồm các thành phần cấu tử như methane, ethane, propane, nitrogen và carbon dioxide để đảm bảo thời gian tính toán mô phỏng dòng chảy lưu chất (chiếm tới gần 98% trong thành phần khí). Hiện tại, các nghiên cứu Ejector dùng khí thiên nhiên tận thu giếng suy giảm áp suất khác sử dụng methane làm lưu chất hoạt động [12 - 16]. Hoặc sử dụng lưu chất 2 pha bao gồm methane và hạt nước có tỷ lệ thể tích là nhỏ hơn 3,1% [17].

Tỷ trọng của hỗn hợp khí tự nhiên được tính theo phương trình khí thực Peng Robison, trong khi các tính chất khác như độ nhớt, nhiệt dung riêng hay độ dẫn nhiệt của lưu chất được lấy từ NIST (National Institute of Standards and Technology) được gọi là REFPROP (Reference Fluid Thermodynamic and Transport Properties Database) [18].

$$p = \frac{RT}{V_m - b} - \frac{a\alpha}{V_m^2 + 2bV_m - b^2} \quad (7)$$

$$a = 0,45724\,\frac{R^2T_C^2}{p_C} \quad (8)$$

$$b = 0,0778\,\frac{RT_C}{p_C} \quad (9)$$

$$\alpha = \left(1 + k\left(1 - T_r^{\frac{1}{2}}\right)\right)^2 \quad (10)$$

$$k = 0,37464 + 1,54226\,\omega - 0,26992\,\omega^2 \quad (11)$$

$$T_r = \frac{T}{T_C} \quad (12)$$

Trong đó:

P, T và R: Áp suất, nhiệt độ và hằng số quan hệ;

T_c và P_c: Nhiệt độ và áp suất tới hạn;

T_r: Nhiệt độ rút gọn;

V_m: Thể tích mol;

ω: Thừa số accentric của cấu tử.

$$\eta = \begin{cases} 0,01726268 + 0,00077648T - 1,54 \\ \times 10^{-5}T^2 - 1,71 \times 10^{-7}T^3 + 1,15 \times 10^{-9}T^4 \\ \text{với } 100 < T < 179,9K \\ -0,1156432 + 0,002943T - 3,09 \times 10^{-5}T^2 + 1,72 \\ \times 10^{-7}T^3 - 5,33 \times 10^{-10}T^4 \text{ với } 179,9 < T < 300K \end{cases}$$

$$C_P = \begin{cases} -658833,1 + 23960,32T - 346,62T^2 \\ + 2,48T^3 - 0,0088T^4 \text{ với } 100 < T < 205,2K \\ 20900000 - 399555,3T + 3049,36T^2 - 11,62T^3 \\ + 0,022T^4 \text{ với } 205,2 < T < 300K \end{cases}$$

$$K_{cond} = -10,759 + 0,4545 - 0,00782T^2 + 7,26 \times 10^{-5}T^3 - 3,94 \times 10^{-7}T^4 \text{ với } 100 < T < 300K$$

Với η, C_P và K_{cond} độ nhớt, nhiệt dung riêng và độ dẫn nhiệt.

3.2.2. Tính độc lập cấu trúc mạng lưới (Mesh Independence)

- Hệ số cấu trúc lưới hội tụ (Grid Convergence Index - GCI)

+ Độ mịn lưới mô phỏng

Chất lượng mạng lưới là một trong những khía cạnh quan trọng phải được xem xét trong khi thực hiện mô phỏng CFD, vì sóng xung kích, dòng chảy tại lớp biên - cận biên và quá trình trộn lẫn ảnh hưởng chính đến hiệu suất hoạt động. Tuy nhiên, việc tạo ra mô hình có số lượng ô lưới dày đặc, sẽ đòi hỏi thời gian tính toán rất lớn và khiến nó trở nên khó có thể áp dụng. Các nghiên cứu gần đây đã nghiên cứu sự thay đổi trong kết quả mô hình so với việc thay đổi kích thước mạng lưới. Mục đích là có thể lựa chọn được mô hình có độ mịn nhất định, đảm bảo được khả năng tính toán trong thời gian cho phép và tại đó kết quả được xem như là độc lập với kích thước và cấu trúc của mạng lưới.

+ Độc lập cấu trúc lưới

GCI có thể giúp định lượng được độ hội tụ của kết quả mô hình mô phỏng gồm rất nhiều mắt lưới [19 - 21]. Phương pháp GCI dự đoán sai số của việc làm mịn lưới mô phỏng từ lý thuyết ngoại suy của Richardson. Hệ số GCI đại diện cho khoảng cách của thông số cần quan sát trong mô phỏng CFD so với giá trị tiệm cận mà nó có thể đạt được khi gia tăng độ phức tạp của mô hình.

$$GCI_{i,i+\_1} = \frac{F_s|\varepsilon_{i,i+1}|}{r_{i,i+1}^p - 1} \quad (13)$$

Với: F_s là hệ số an toàn, bằng 1,25 trong trường hợp so sánh 3 cấu trúc lưới khác nhau. Hệ số ε là sai số tương đối dựa theo thông số cần quan sát, trong trường hợp này là tỷ lệ hút entrainment ω. Còn N_i là số ô mắt lưới trong từng cấu trúc lưới khác nhau được so sánh.

$$\varepsilon_{i,i+1} = \frac{\omega_{i+1} - \omega_i}{\omega_{i+1}} \quad (14)$$

$$r_{i,i+1} = \left(\frac{N_i}{N_{i+1}}\right)^{0,5} \quad (15)$$

***Bảng 1.** Thành phần cấu tử trong lưu chất dẫn động và lưu chất bị hút*

Thành phần cấu tử	Lưu chất dẫn động (% mol)	Lưu chất bị hút (% mol)
Methane (CH_4)	88,2	78,3
Ethane (C_2H_6)	4,3	5,7
Propane (C_3H_8)	3,5	10
Nitrogen (N_2)	1	1,5
CO_2	4	4,5

Giá trị p được gọi là bậc rời rạc hóa của mô hình CFD (order of discretization) và được tính toán dựa trên công thức vòng lặp:

$$p_n = 0{,}5p_{n-1} + 0{,}5\frac{ln\left(\frac{\left(\left(r_{12}^{p_{n-1}}-1\right)e_{23}\right)}{\left(\left(r_{23}^{p_{n-1}}-1\right)e_{12}\right)}\right)}{ln(r_{12})} \quad (16)$$

Với: p_{n-1} là kết quả của vòng lặp trước. Vòng lặp kết thúc khi $|p - p_{n-1}| < 1 \times 10^{-5}$. Trong khi đó, p_o là giá trị đầu tiên của vòng lặp được tính theo công thức:

$$p_0 = \frac{ln\left(\frac{e_{23}}{e_{12}}\right)}{ln(r_{12})} \quad (17)$$

Trong đó: $e_{23} = \omega_3 - \omega_2$ và $e_{12} = \omega_2 - \omega_1$

Phương pháp GCI có thể đưa ra các kết luận về tính độc lập cấu trúc lưới mô phỏng dựa trên việc tính toán các thông số sau:

$$\alpha = \frac{r_{12}^{p} \times GCI_{12}}{GCI_{23}} \quad (18)$$

$$\omega_{exact} = \omega_1 + \frac{\omega_1 - \omega_2}{r_{12}^{p} - 1} \quad (19)$$

$$R = \frac{\varepsilon_{12}}{\varepsilon_{23}} \quad (20)$$

$$A_{Cell\_avg} = \frac{\sum_{i=1}^{N} A_i}{N} = \frac{A_D}{N} \quad (21)$$

Từ các giá trị tính toán được từ phương pháp GCI, có thể thấy mô hình Ejector sử dụng thành phần hỗn hợp khí cần phải có mô hình mắt lưới phức tạp hơn so với các nghiên cứu về Ejector khí tự nhiên trước đó. Để đạt được sự ổn định của giá trị tỷ lệ hút entrainment, mô hình phải cần đến 438.000 mắt lưới so với 21.000; 11.610; 32.140; 69.366; 336.387 và 294.360 lần lượt theo các nghiên cứu trước đó [12 - 17].

Trong đó, A_D và A_{Cell_avg} lần lượt là diện tích bề mặt mô phỏng và diện tích trung bình từng ô mắt lưới tứ giác (quadrilateral) của Ejector được chia nhỏ. Có thể rút ra kết luận từ tính toán độc lập cấu trúc lưới mô phỏng như sau:

+ Giá trị cần quan sát gần với giá trị tiệm cận vì $\alpha \approx 1$.

+ Giá trị tiệm cận của tỷ lệ hút entrainment nếu tiếp tục làm mịn mô hình là ω_{exact} = 38,56%. Số ô mắt lưới cần phải chia của mô phỏng CFD để đạt được giá trị tiệm cận tỷ lệ hút là N_{exact} = 438.417 ô mắt lưới.

+ Hệ số R = 0,12381 đại diện cho khả năng hội tụ đơn điệu của giá trị cần quan sát theo phương pháp GCI (hội tụ đơn điệu - monotonic convergence vì 0 < R < 1).

+ Tính độc lập của giá trị cần quan sát so với cấu trúc lưới mô phỏng có thể được xác định nếu GCL_{12} = 3,7526% là nhỏ hơn GCL_{23} = 20,86%.

4. Kết quả và thảo luận

4.1. Kết quả của mô phỏng CFD thiết bị Ejector

4.1.1. So sánh tỷ lệ hút entrainment của mô hình với các nghiên cứu khác

Cấu trúc Ejector được nghiên cứu tại mỏ Hải Thạch được phát triển theo phương pháp xác định hình dạng tối ưu từ nghiên cứu của Amin Hassan Amin và cộng sự [16] và Weixiong Chen và cộng sự [17]. Trong nghiên cứu của Amin Hassan Amin và cộng sự, thiết kế Ejector hoạt động tại điều kiện 12 MPa áp suất sơ cấp, 2 MPa áp suất thứ cấp và 5,2 MPa áp suất đầu ra. Kết quả tỷ lệ hút entrainment tối ưu mà Amin Hassan Amin và cộng sự đạt được là 19,45% thông qua mô phỏng CFD sử dụng methane làm lưu chất hoạt động.

Trong nghiên cứu của Weixiong Chen và cộng sự, Ejector khí tự nhiên được mô phỏng CFD và kiểm chứng thực địa với điều kiện hoạt động là 11 - 13 MPa áp suất sơ cấp, 2 - 4 MPa áp suất thứ cấp và từ 5,1 - 5,6 MPa áp suất đầu ra. Kết quả tỷ lệ hút entrainment tối ưu mà tác giả đạt được so với áp suất sơ cấp được biểu diễn như trong Hình 4. Khi áp dụng tại cùng 1 điều kiện thông số và cấu tạo, mô hình CFD sử dụng hỗn hợp khí tự nhiên cho kết quả tương đương tại giá trị áp suất sơ cấp thấp (tỷ lệ hút thấp). Tuy nhiên, tại giá trị áp suất sơ cấp tăng lên sẽ tương ứng với tỷ lệ hút cao (từ 35 bar áp suất cổng thứ cấp trở lên), mô hình hỗn hợp khí cho kết quả cao hơn so với mô hình

Bảng 2. *Kết quả tính độc lập cấu trúc mạng lưới Ejector*

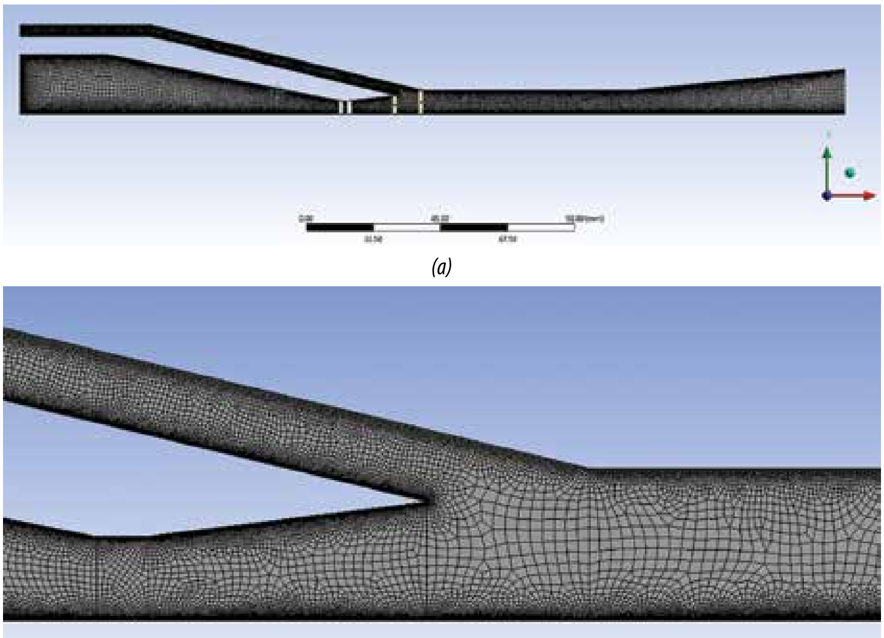
A_D (mm)	i	N_i	A_{Cell_avg} (mm^2)	ω_i	GCI (%)
3651,7	1	416113	0,0088	38,55	
	2	315763	0,0116	38,50	3,7526
	3	227345	0,0161	38,08	20,8634
α			0,989089		
R			0,12381		
ω_{exact}			38,56356		
N_{exact}			438417,7		

chỉ sử dụng methane của Weixiong Chen và cộng sự [17].

Trong khi đó, Ejector được nghiên cứu áp dụng tại mỏ Hải Thạch đạt được tỷ lệ hút entrainment là 37,69% tại điều kiện thiết kế là 14 MPa sơ cấp, 3,5 MPa thứ cấp và 4,5 MPa đầu ra. Đây là phương án đang được triển khai nghiên cứu sử dụng khí dẫn động lấy từ đầu ra máy nén khí của giàn xử lý trung tâm mỏ Hải Thạch. Phương án áp dụng tại mỏ Hải Thạch đã cho tỷ lệ hút entrainment cao hơn 2 nghiên cứu về Ejector khí tự nhiên trước đó của Amin Hassan Amin và cộng sự [16] và Weixiong Chen và cộng sự [17].

4.1.2. So sánh 2 mô hình CFD sử dụng methane và hỗn hợp khí tự nhiên

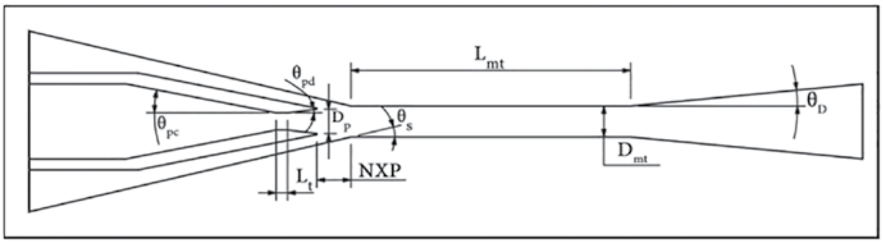
Khi so sánh giữa 2 mô hình Ejector sử dụng hỗn hợp khí tự nhiên tại cùng một điều kiện, ta có đồ thị tỷ lệ hút entrainment so với áp suất thứ cấp như Hình 6. Ban đầu khi áp suất cổng thứ cấp đang cao thì mô hình sử dụng hỗn hợp khí tự nhiên cho tỷ lệ hút cao hơn. Khi áp suất dòng



(a)

(b)

Hình 2. *Cấu trúc lưới của mô hình Ejector với kiểu phân chia mắt lưới tứ giác (quadrilateral) (a) và chi tiết tại khu vực buồng trộn (b)*



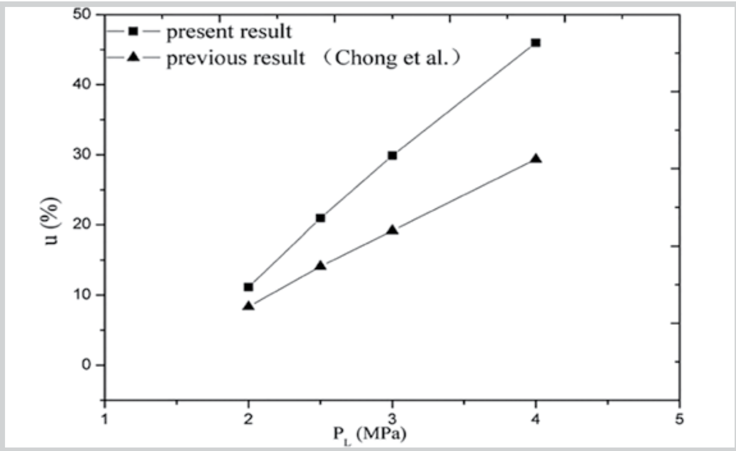
Hình 3. *Các kích thước hình học ảnh hưởng đến tỷ lệ hút entrainment theo nghiên cứu của Amin Hassan Amin và cộng sự [16]*

Bảng 3. *Chi tiết mô hình CFD cho phương án sử dụng Ejector tại mỏ Hải Thạch*

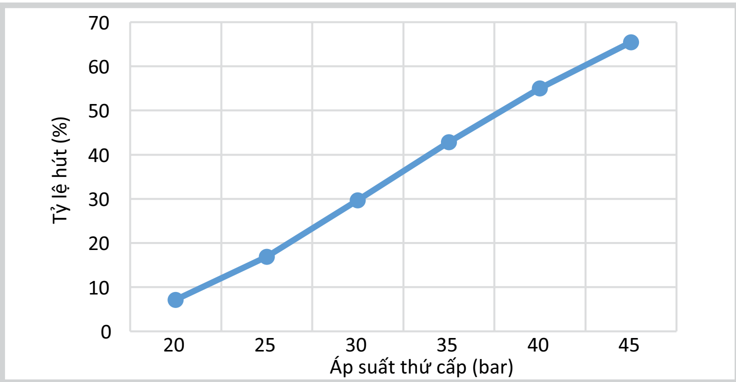
Thông số	Diễn giải
Tính phụ thuộc thời gian	Trạng thái ổn định.
Phương pháp phân chia cấu trúc	Phân chia mắt lưới tứ giác; Xác định tính độc lập của tỷ lệ hút entrainment và biên dạng áp suất so với số ô mắt lưới.
Bộ giải	Thuật toán SIMPLE cho mối quan hệ giữa áp suất và vận tốc dòng lưu chất.
Mô hình rối	k-ε Re-Normalization Group.
Miền tính toán	Theo áp suất và nhiệt độ cho các phương án 1 và 2.
Chất lưu	Hỗn hợp khí gồm methane, ethane, propane, nitrogen và carbon dioxide như chi tiết trong Bảng 1 (phương trình khí thực Peng Robison cho tỷ trọng hỗn hợp).
Độ hội tụ	Vòng lặp sẽ dừng lại khi phần dư được xác định nhỏ hơn 10^{-6} cho các phương trình liên tục, động lượng và năng lượng.
Thông số quan sát	- Tỷ lệ hút entrainment đặc trưng cho khả năng có thể hút được một khối lượng lưu chất thứ cấp trên một khối lượng lưu chất sơ cấp tại điều kiện đầu vào; - Đồ thị lưu lượng dòng thứ cấp so với áp suất dòng thứ cấp.

Bảng 4. *Kích thước tối ưu theo nghiên cứu của Amin Hassan Amin và cộng sự đạt được thông qua 216 bộ kích thước khác nhau [16]*

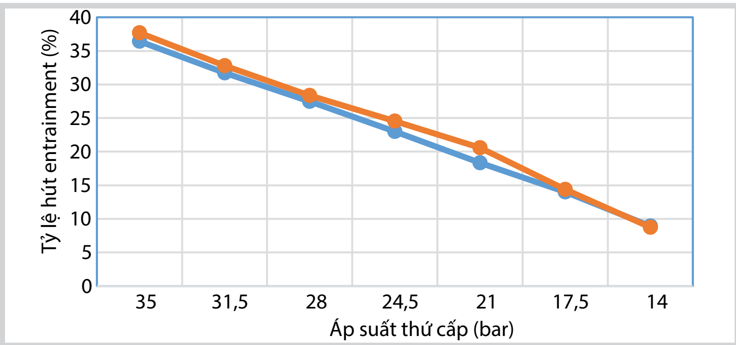
Thông số	D_t (mm)	θ_{pc} (độ)	θ_{pd} (độ)	D_p/D_t	NXP/D_t	θ_s (độ)	D_{mt}/D_t	θ (độ)	L_{mt}/D_t	L_t/D_t
	4,6	11,2071	7,0631	1,4069	1,9178	13,5	1,8045	5,5723	15,7391	0,6387
				D_p = 6,4717	NXP = 8,822		D_{mt} = 8,3		L_{mt} = 72,4	L_t = 2,938



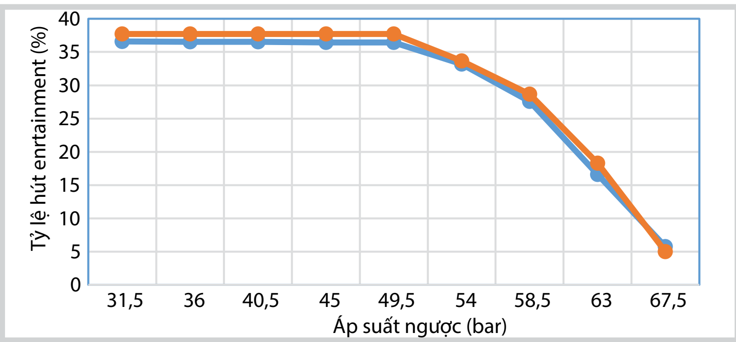
Hình 4. *Đồ thị tỷ lệ hút entrainment so với áp suất thứ cấp tại điều kiện áp suất sơ cấp P_p = 12 MPa và áp suất ngược P_s = 5,2 MPa [17]*



Hình 5. *Đồ thị tỷ lệ hút entrainment so với áp suất thứ cấp tại cùng điều kiện khi so sánh với nghiên cứu của Weixiong Chen và cộng sự [17]*



Hình 6. *Tỷ lệ hút entrainment giữa 2 mô hình sử dụng khí methane và hỗn hợp khí tự nhiên so với áp suất thứ cấp tại điều kiện: P_p = 140 bar, P_b = 45 bar*



Hình 7. *Tỷ lệ hút entrainment giữa 2 mô hình sử dụng khí methane và hỗn hợp khí tự nhiên so với áp suất ngược tại điều kiện P_p = 140 bar, P_b = 45 bar*

thứ cấp giảm xuống thì mô hình sử dụng methane và hỗn hợp khí tự nhiên cho kết quả tương đương. Hình 7 biểu diễn tỷ lệ hút entrainment so với áp suất ngược cho 2 mô hình Ejector. Mô hình sử dụng hỗn hợp khí cho tỷ lệ hút cao hơn tại chế độ nghẹt đôi, tuy nhiên 2 mô hình lại cho kết quả tương đương trong chế độ nghẹt đơn và đảo lưu. Điều này có thể giải thích do khối lượng phân tử của các hỗn hợp khí tự nhiên là lớn hơn và qua đó tạo ra nguồn năng lượng dẫn động lớn hơn. Tuy nhiên, bắt đầu từ chế độ nghẹt đơn thì nguồn năng lượng dẫn động này là không đủ và không vượt trội so với áp suất ngược. Vì vậy, tỷ lệ hút không có khác biệt.

Thông qua mô phỏng CFD, có đồ thị so sánh biên dạng vận tốc, áp suất dòng lưu chất giữa 2 mô hình chỉ dùng methane và gồm thành phần hỗn hợp khí tự nhiên. Kết quả mô phỏng cho 2 mô hình này được tính toán cho điều kiện 12 MPa áp suất sơ cấp, 3 MPa áp suất thứ cấp và 4,1 MPa áp suất ngược (Hình 8 - 10). Trong Hình 9, các vị trí sóng xung kích tương ứng với các vị trí màu đỏ. Điểm khác biệt chủ yếu xảy ra trong khu vực thiết diện không đổi và buồng trộn (Hình 8, 10). Tại khu vực thiết diện không đổi và buồng trộn, mô hình hỗn hợp khí có kết quả vận tốc dòng lưu chất lớn hơn và không có sự biến thiên vận tốc. Với mô hình chỉ có methane, tại khu vực thiết diện không đổi và buồng trộn có nhiều sóng xung kích hơn (Hình 9). Sóng xung kích được tạo ra là do dòng lưu chất liên tục tăng và giảm vận tốc. Vì vậy, có sự suy giảm năng lượng dòng lưu chất và tạo ra khác biệt về tỷ lệ hút.

Ngoài ra, thông qua mô phỏng CFD hỗn hợp khí tự nhiên, có biên dạng tỷ lệ khối lượng dòng chảy các thành phần cấu tử như Hình 11 - 13. Kết quả cho thấy mô phỏng CFD hỗn hợp khí tự nhiên rất cần thiết cho các ứng dụng đòi hỏi độ chính xác về thành phần cấu tử khí tự nhiên.

4.2. Khả năng áp dụng kết quả của mô hình CFD thiết bị Ejector trong nghiên cứu gia tăng thu hồi cho mỏ khí, condensate

Việc xây dựng mô hình chính xác hoạt động của thiết bị Ejector bằng phương pháp mô phỏng CFD hỗn hợp khí tự nhiên hỗ trợ hiệu quả trong công tác nghiên cứu triển khai giải pháp gia tăng thu hồi cho mỏ khí, condensate:

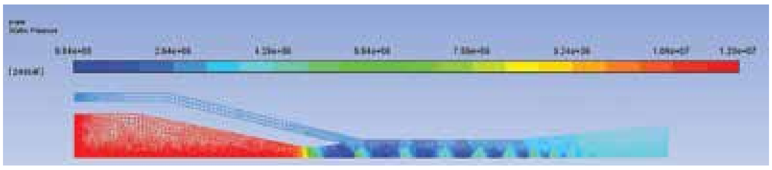
- Mô phỏng CFD có thể phân tích được ảnh hưởng của các thông số vận hành, đặc điểm cấu trúc bên trong đến hiệu suất làm việc của thiết bị. Mô hình CFD sử dụng hỗn hợp khí tự nhiên sẽ dùng để nghiên cứu tối ưu hóa cấu trúc bên trong thiết bị Ejector cho điều kiện áp dụng tại mỏ Hải Thạch - Mộc Tinh. Các nghiên cứu [16, 22] đã chỉ ra nhược điểm của mô hình là hiệu suất thiết bị Ejector còn thấp, đặc biệt là trong trường hợp áp suất đầu ra cao hoặc áp suất dòng thứ cấp thấp.

- Kỹ thuật CFD còn giúp phân tích và nhận định các phương án lấy khí dẫn động khác nhau để đưa ra phương án hiệu quả nhất trong điều kiện tại mỏ Hải Thạch - Mộc Tinh. Hiện tại, trong ứng dụng gia tăng thu hồi khí dùng Ejector trên thế giới, không có phương án nào được coi là tối ưu trong mọi trường hợp. Tỷ lệ hút entrainment sẽ được tính toán theo suốt quá trình gia tăng thu hồi của giếng suy giảm áp suất. Tổng thời gian thu hồi cũng như sản phẩm gia tăng được tính toán theo từng phương án áp dụng tại mỏ Hải Thạch.

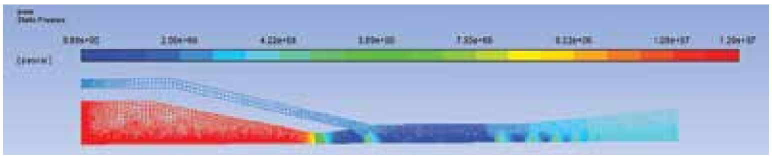
- Đánh giá kỹ thuật, nhận định các tình huống vận hành có thể gặp phải. Các vấn đề vận hành thiết bị đã được dự báo như: tỷ lệ lỏng trong dòng thứ cấp, hàm lượng CO_2, H_2S gây ăn mòn vòi phun, dòng chảy chất lỏng không ổn định, hiện tượng Joule - Thomson và hình thành hydrate [23].

- Ngoài ra, việc có thể giám sát và đảm bảo chế độ hoạt động tối ưu của thiết bị theo thời gian thực trong quá trình vận hành Ejector rất cần thiết [15]. Kết quả của mô hình CFD cho phép tính toán phương án vận hành thiết bị bằng cách so sánh hiệu suất của thiết bị theo thời gian thực (sử dụng các thiết bị đo đạc thực địa) với kết quả mô phỏng CFD. Trong khi vận hành Ejector, B.J.Huang và cộng sự đã nhấn mạnh tầm quan trọng của biểu đồ nổi tiếng như Hình 14 [24]. Trong đó, hiệu suất Ejector được chia làm 3 chế độ: chế độ tới hạn - nghẹt đôi (critical mode), chế độ cận tới hạn - nghẹt đơn (subcritical) và chế độ đảo lưu (backflow mode).

Tại chế độ cận tới hạn, tỷ số hút entrainment là không đổi so với áp suất ngược cho

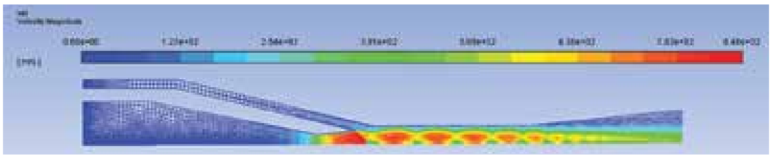


(a)

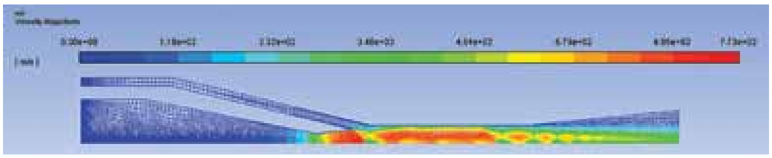


(b)

Hình 8. *Biên dạng áp suất tĩnh bên trong kết cấu - Mô hình chỉ có methane (a); mô hình hỗn hợp khí (b)*

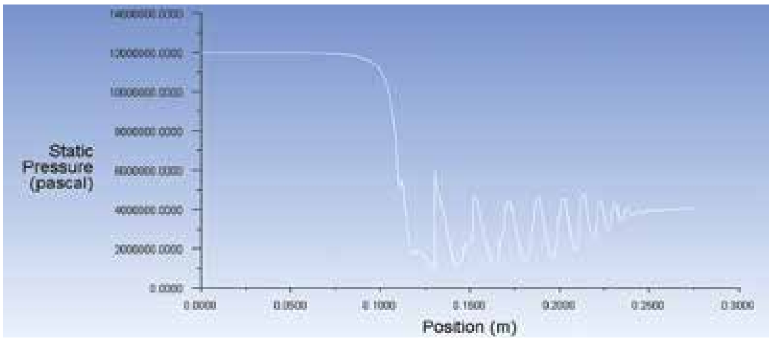


(a)

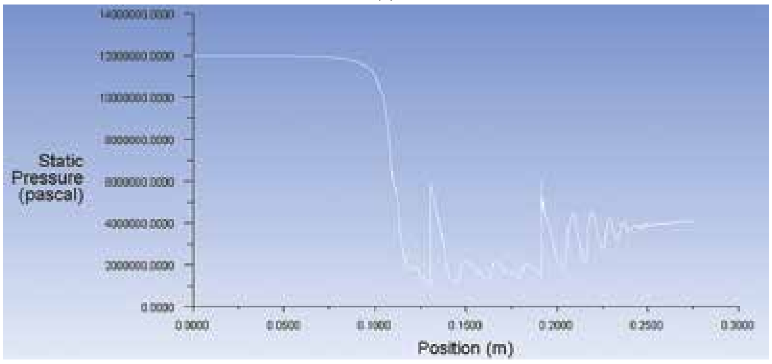


(b)

Hình 9. *Biên dạng vận tốc lưu chất bên trong kết cấu - Mô hình chỉ có methane (a); mô hình hỗn hợp khí (b)*

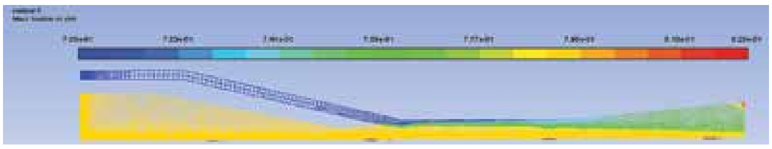


(a)

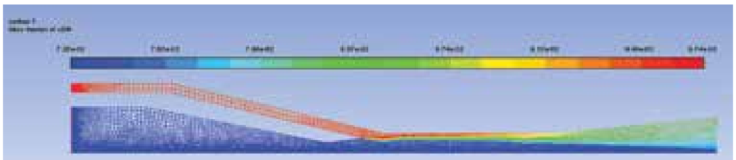


(b)

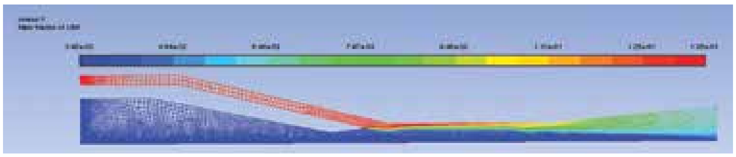
Hình 10. *Đồ thị áp suất tĩnh dọc chiều dài tại trục chính của thiết bị - Mô hình chỉ có methane (a); mô hình hỗn hợp khí (b)*



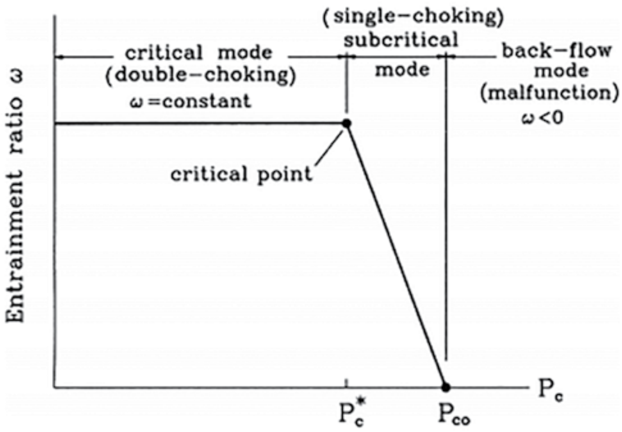
Hình 11. *Biên dạng tỷ lệ khối lượng dòng chảy của khí methane trong hỗn hợp*



Hình 12. Biên dạng tỷ lệ khối lượng dòng chảy của khí ethane trong hỗn hợp



Hình 13. Biên dạng tỷ lệ khối lượng dòng chảy của khí propane trong hỗn hợp



Hình 14. Đồ thị tỷ số hút entrainment so với áp suất ngược [24]

đến 1 giá trị nhất định (gọi là áp suất ngược tới hạn - Critical back pressure) và tỷ số hút entrainment bắt đầu giảm khi áp suất ngược tăng. Tỷ lệ hút entrainment sẽ bị giảm đột ngột do giảm dòng chảy thứ cấp. Nếu tiếp tục gia tăng áp suất ngược, thiết bị Ejector sẽ không thể tạo ra tỷ lệ hút entrainment nữa. Sẽ có hiện tượng dòng chảy ngược hay đảo lưu tại đầu thứ cấp [25].

5. Kết luận

Ứng dụng để gia tăng thu hồi cho mỏ khí condensate Hải Thạch sử dụng thiết bị Ejector đã được mô phỏng bằng kỹ thuật CFD. Kết quả so sánh với nghiên cứu trước đó của Amin Hassan Amin và các cộng sự [16] và Weixiong Chen và các cộng sự [17] cho thấy mô hình mô phỏng CFD sử dụng thành phần khí hỗn hợp với điều kiện mỏ Hải Thạch cho kết quả chính xác. Tuy nhiên, mô hình sử dụng hỗn hợp khí đòi hỏi lưới mô phỏng được chia nhỏ hơn rất nhiều so với các nghiên cứu trước đó nhằm đạt được độ độc lập kết quả GCI. Tại các điều kiện có tỷ lệ hút entrainment cao thì mô hình sử dụng hỗn hợp khí tự nhiên cho kết quả cao hơn so với mô hình sử dụng khí methane thông thường. Vị trí có sự khác nhau là khu vực buồng trộn và vùng thiết diện không đổi nơi xảy ra các sóng xung kích do thay đổi vận tốc dòng lưu chất. Mô hình CFD của Ejector đang được nghiên cứu áp dụng tại mỏ Hải Thạch đạt được tỷ lệ hút 37,69% tại điều kiện thiết kế là 14 MPa sơ cấp, 3,5 MPa thứ cấp và 4,5 MPa đầu ra. Đây là phương án sử dụng khí dẫn động từ đầu ra máy nén khí tại giàn xử lý trung tâm mỏ Hải Thạch. Mô hình sử dụng hỗn hợp khí tự nhiên là bước tiến mới giúp thiết kế và tối ưu hóa thiết bị Ejector cũng như giúp nâng cao tính chính xác, hiệu quả cho các nghiên cứu sử dụng Ejector khí tự nhiên trong tương lai. Từ nghiên cứu xây dựng mô hình CFD này, có thể đẩy mạnh triển khai áp dụng Ejector khí tự nhiên trong các lĩnh vực tiềm năng khác tại Việt Nam và cụ thể là mỏ Hải Thạch - Mộc Tinh như gia tăng thu hồi mỏ khí, thu gom khí bay hơi (flashing) từ sản phẩm condensate hay hút condensate ngưng tụ vùng cận đáy giếng.

Các phương hướng nghiên cứu tiếp theo là gia tăng thu hồi khí condensate bằng thiết bị Ejector tại mỏ Hải Thạch gồm việc tối ưu hóa thiết kế, triển khai lắp đặt, vận hành và kiểm chứng mô hình bằng kết quả thực địa. Các nghiên cứu nổi bật nhằm đưa ra giải pháp tối ưu về kích thước và hình dạng khác nhau của Ejector khí tự nhiên như là phương pháp tối ưu hóa đa mục tiêu của bộ cấu kiện bên trong Ejector Set-Based Concurrent Engineering [26], không thứ nguyên hóa cấu tạo hình học của Ejector so với tỷ lệ hút entrainment [27], hay phương pháp tối ưu dựa trên mẫu đại diện (Surrogate based optimization technique) kết hợp mô phỏng CFD, phương pháp Kriging và giải thuật di truyền [16], phương pháp CFD kết hợp giải thuật tiến hóa đa mục tiêu (Multi-Objectives Evolutionary Algorithm). Việc gia tăng thu hồi khí kéo dài có thể sẽ đòi hỏi nhiều bộ lõi khác nhau được thiết kế và chế tạo nhằm thu hồi được lượng sản phẩm lớn nhất tại cụm mỏ Hải Thạch - Mộc Tinh.

Tài liệu tham khảo

[1] Bourhan M.Tashtoush, Moh'd A.Al-Nimr, and Mohammad A.Khasawneh, "A comprehensive review of ejector design, performance, and applications", *Applied Energy*, Vol. 240, pp. 138 - 172, 2019.

[2] Y.Bartosiewicz, Z.Aidoun, and Y.Mercadier, "Numerical assessment of ejector operation for refrigeration applications based on CFD," *Applied Thermal Engineering*, Vol. 26, No. 5 - 6, pp. 604 - 612, 2006.

[3] A.J.Green, Kevin Ashton, and A.T.Reade, "Gas production improvements using ejectors",

Offshore Europe, Aberdeen, United Kingdom, 7 - 10 September, *1993*.

[4] M.M.Sarshar, "Jet-boosting the profitability of marginal oil and gas fields", *World Pumps,* Vol. 1998, No. 387, pp. 24 - 26, 1998.

[5] Marco Villa, Giambattista De Ghetto, Francesco Paone, Giancarlo Giacchetta, and Maurizio Bevilacqua, "Ejectors for boosting low-pressure oil wells", *SPE Production & Facilities,* Vol. 14, No. 4, pp. 229 - 234, 1999.

[6] P.Andreussi, S.Sodini, V.Faluomi, P.Ciandri, A.Ansiati, F.Paone, C.Battaia, "Multiphase ejector to boost production: First application in the Gulf of Mexico", *Offshore Technology Conference, Houston, Texas, 5 - 8 May, 2003*.

[7] Kulachate Pianthong, Wirapan Seehanam, M.Behnia, Thanarath Sriveerakul, and S.Aphornratana, "Investigation and improvement of ejector refrigeration system using computational fluid dynamics technique", *Energy Conversion and Management,* Vol. 48, No. 9, pp. 2556 - 2564, 2007.

[8] Yinhai Zhu, Wenjian Cai, Changyun Wen, and Yanzhong Li, "Numerical investigation of geometry parameters for design of high performance ejectors", *Applied Thermal Engineering,* Vol. 29, No. 5 - 6, pp. 898 - 905, 2009.

[9] Y.Bartosiewicz, Zine Aidoun, P. Desevaux, and Y.Mercadier, "CFD-Experiments integration in the evaluation of six turbulence models for supersonic ejectors modeling", *Proceedings of Integrating CFD and Experiments Conference, Glasgow, UK, 2004*.

[10] Yinhai Zhu and Peixue Jiang, "Experimental and numerical investigation of the effect of shock wave characteristics on the ejector performance," *International Journal of Refrigeration,* Vol. 40, pp. 31 - 42, 2014.

[11] Weixiong Chen, Huiqiang Chen, Chen Chaoyin Shi, Kangkang Xue, Daotong Chong, and Junjie Yan, "A novel ejector with a bypass to enhance the performance", *Applied Thermal Engineering,* Vol. 93, pp. 939 - 946, 2016.

[12] Daotong Chong, Junjie Yan, Gesheng Wu, and Jiping Liu, "Structural optimization and experimental investigation of supersonic ejectors for boosting low pressure natural gas", *Applied Thermal Engineering,* Vol. 29, No. 14 - 15, pp. 2799 - 2807, 2009.

[13] D.Chong, G.Wu, S.Liu, J.Yan, and J.Liu, "Numerical simulation of low pressure natural gas injector", *AIP Conference Proceedings,* Vol. 1207, pp. 961 - 967, 2010.

[14] Weixiong Chen, Daotong Chong, Junjie Yan, and Jiping Liu, "Numerical optimization on the geometrical factors of natural gas ejectors", *International Journal of Thermal Sciences,* Vol. 50, No. 8, pp. 1554 - 1561, 2011.

[15] Weixiong Chen, Chenxi Huang, Daotong Chong, and Junjie Yan, "Numerical assessment of ejector performance enhancement by means of combined adjustable-geometry and bypass methods", *Applied Thermal Engineering,* Vol. 149, pp. 950 - 959, 2019.

[16] Amin Hassan Amin, Ibrahim Elbadawy, Essam Elgendy, and Md Fatouh, "Effect of geometrical factors interactions on design optimization process of a natural gas ejector", Mechanical Engineerin, Vol. 11, No. 9, 2019.

[17] Weixiong Chen, Daotong Chong, Junjie Yan, Sheng-Chao Dong, and Ji-Ping Liu, "Numerical investigation of two-phase flow in natural gas ejector", *Heat Transfer Engineering,* Vol. 35, No. 6 - 8, 2014.

[18] NIST, *NIST standard reference database number 69*. Chemistry WebBook, 2018.

[19] P.J.Roache, "Perspective: A method for uniform reporting of grid refinement studies", *Journal of Fluids Engineering,* Vol. 116, No. 3, pp. 405 - 413, 1994.

[20] P.J.Roache, "Quantification of uncertainty in computational fluid dynamics", Vol. 29, pp. 123 - 160, 1997.

[21] Patrick J.Roache, "Verification of codes and calculations", *AIAA Journal,* Vol. 36, No. 5, pp. 696 - 702, 1998.

[22] Weixiong Chen, Daotong Chong, Junjie Yan, and Jiping Liu, "The numerical analysis of the effect of geometrical factors on natural gas ejector performance", *Applied Thermal Engineering,* Vol. 59, No. 1 - 2, pp. 21 - 29, 2013.

[23] Syed M.Peeran and N.Beg S.Sarshar, "Novel examples of the use of surface jet pumps (SJPs) to enhance production & processing. Case studies & lessons learnt", *North Africa Technical Conference and Exhibition, Cairo, Egypt, 15 - 17 April, 2013.*

[24] B.J.Huang, C.B.Jiang and F.L.Hu, "Ejector performance characteristics and design analysis of jet refrigeration system", *Journal of Engineering for Gas Turbines and Power,* Vol. 107, No. 3, pp. 792 - 802, 1985.

[25] Jianyong Chen, Sad Jarall, Hans Havtun, and Bans Palm, "A review on versatile ejector applications in refrigeration systems", *Renewable and Sustainable Energy Reviews,* Vol. 49, pp. 67 - 90, 2015.

[26] Muhd Ikmal I. Bin Mohd Maulana, AhmedAl-Ashaab, Jakub W.Flisiak, Zehra C.Araci, Piotr W.Lasisz, Essam Shehab, Najam Beg, and Abdullah Rehman, "The set-based concurrent engineering application: A process of identifying the potential benefits in the surface jet pump case study," *Procedia CIRP*, Vol. 60, pp. 350 - 355, 2017.

[27] Navid Sharifi, Masoud Boroomand, and Majid Sharifi, "Numerical optimization of ejector geometry based on non-dimensional parameters", *International Mechanical Engineering Congress and Exposition, Houston, Texas, USA, November 9 - 15, 2012*.

ENHANCING PRODUCTION WITH NATURAL GAS EJECTOR FOR HAI THACH GAS CONDENSATE FIELD - CFD MODEL DEVELOPMENT

Tran Ngoc Trung[1], Trieu Hung Truong[2], Ngo Huu Hai[1], Tran Vu Tung[1], Ly Van Dao[1]
[1]Bien Dong Petroleum Operating Company
[2]Hanoi University of Mining and Geology
Email: trungtn@biendongpoc.vn

Summary

In the field of gas and condensate production, the processing of fluid flowing depends on the reservoir pressure and the inlet pressure of the gas processing system. In order to recover gas and condensate from the depleting or pressure-reducing wells at the same time with wells still maintaining stable flowrate and pressure, conventionally the methods of using surface equipment are often studied to evaluate their technical feasibility as well as economic efficiency. Two conventional methods using surface equipment are Three-phase Natural Gas Compressor and Ejector. Compared to the Gas Compressor, the method using Ejector offers many advantages such as low investment and operating costs, and this is also a lightweight, reliable and environmental-friendly equipment. However, to support investment decision making, a reliable fluid dynamic model is crucial to analyse the workability and performance as well as to accurately calculate the increase of enhanced recovery products.

In this study, the results of the Computational Fluid Dynamic (CFD) model using a gas mixture were also compared to those produced by the equivalent model using only methane. The flowing of fluids inside the Ejector is modelled based on the k-ε Re-Normalisation Group (k-ε RNG) turbulent model. The gas compositions for working fluids are those under the conditions of Hai Thach field. The Peng-Robison real gas equation was also applied to calculate the gas density.

Key words: Ejector, CFD model, enhanced gas/condensate recovery, Hai Thach field.