

ỨNG DỤNG KỸ THUẬT MÔ PHÒNG ĐỘNG THEO THỜI GIAN THỰC VÀO VẬN HÀNH AN TOÀN, HIỆU QUẢ ĐƯỜNG ỐNG 2 PHA NAM CÔN SƠN

Bùi Tiến Dũng, Dương Quốc Tuấn, Nguyễn Thanh Ngoãn, Hồ Xuân Thành

Công ty Đường ống khí Nam Côn Sơn (NCSP)

Email: ngoan.nguyen@ncsp.com.vn

<https://doi.org/10.47800/PVSI.2025.01-07>

Tóm tắt

Bài báo giới thiệu ứng dụng kỹ thuật mô phỏng động theo thời gian thực giúp Công ty Đường ống khí Nam Côn Sơn (NCSP) vận hành an toàn, hiệu quả hệ thống đường ống 2 pha (khí và condensate) với chiều dài 371 km. Phần mềm mô phỏng động theo thời gian thực MSI được phát triển dựa trên nền tảng OLGA đã hỗ trợ NCSP quản lý sản phẩm lỏng, dự báo các kịch bản vận hành, rò rỉ khí và tối ưu hóa vận hành, góp phần vận chuyển an toàn gần 110 tỷ m³ khí và 2,7 triệu tấn condensate trong hơn 22 năm qua, đảm bảo an ninh năng lượng quốc gia và thúc đẩy phát triển kinh tế Việt Nam. Việc ứng dụng thành công giải pháp này không chỉ giải quyết các thách thức kỹ thuật phức tạp mà còn đặt nền móng cho quá trình chuyển đổi số trong ngành công nghiệp khí Việt Nam.

Từ khóa: Ứng dụng kỹ thuật mô phỏng tiên tiến, đường ống 2 pha, mô phỏng động theo thời gian thực, đường ống Nam Côn Sơn.

1. Giới thiệu

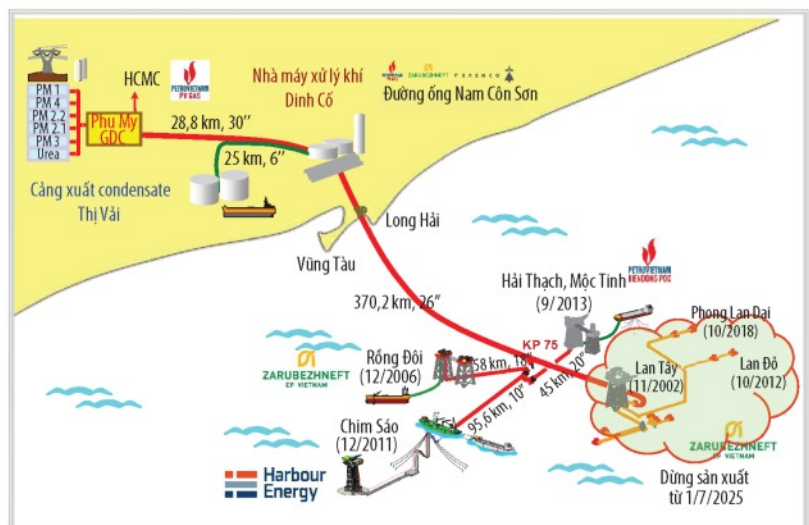
Hệ thống đường ống khí Nam Côn Sơn vận chuyển khí và condensate từ các mỏ Lan Tây, Lan Đỏ (Lô 06.1) từ năm 2002, sau đó mở rộng thêm các mỏ Lô 11.2 (từ 2006), Lô 12W (từ 2011), Lô 05-2 và 05-3 (từ 2013). Với chiều dài 371 km và đường kính 26 inch, đây là đường ống 2 pha dài nhất thế giới vào thời điểm đó. Việc vận hành hệ thống này gặp nhiều thách thức do dòng lưu chất đa pha có trạng thái biến đổi liên tục, gây ra các hiện tượng như tích tụ sản phẩm lỏng, dao động áp suất và nguy cơ ngưng tụ thiết bị [1].

2. Ứng dụng khoa học công nghệ trong công tác vận hành hệ thống đường ống 2 pha

2.1. Thách thức kỹ thuật

Hệ thống đường ống 2 pha Nam Côn Sơn đối mặt với nhiều thách thức kỹ thuật phức tạp, bao gồm:

- Chuyển pha liên tục: Dòng chất lưu 2 pha có thể chuyển đổi giữa các trạng thái pha (Hình 3), dẫn đến sự thay đổi áp suất và nhiệt độ dọc tuyến ống, gây nguy cơ hình thành khối lỏng (liquid slug) và ảnh hưởng đến hiệu quả vận hành.
- Chế độ dòng chảy: Thay đổi theo vận tốc dòng khí và condensate bao gồm dòng phân tầng, sóng, slug và dòng xoáy. Mỗi chế độ lại ảnh hưởng khác nhau đến hiệu quả và an toàn vận hành (Hình 3).
- Lượng sản phẩm lỏng tích tụ trong đường ống (LHU): Theo nghiên cứu của Statoil [1], lượng sản phẩm lỏng tích tụ trong đường ống có thể tăng gấp 2 lần khi lưu lượng khí giảm 30% (Hình 4).



Hình 1. Sơ đồ hệ thống đường ống Nam Côn Sơn.

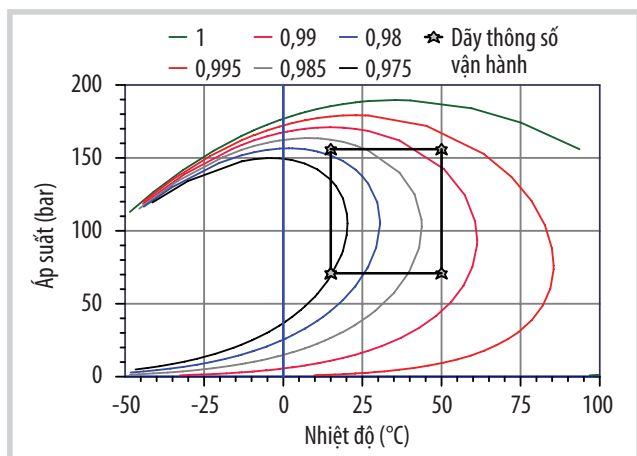


Ngày nhận bài: 10/1/2025.

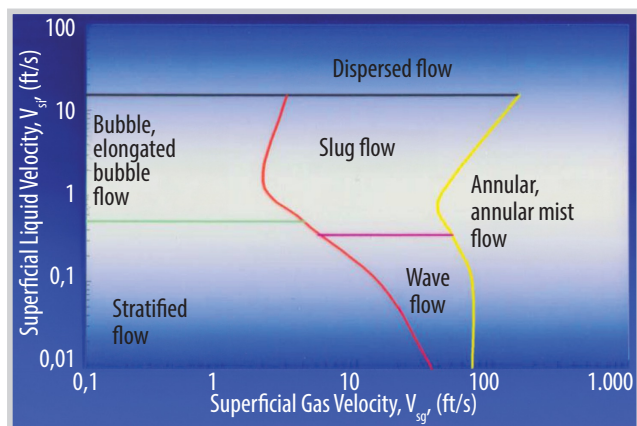
Ngày phân biên đánh giá và sửa chữa: 10 - 30/1/2025.

Ngày bài báo được duyệt đăng: 30/1/2025.

- Nguy cơ ngập lụt thiết bị tiếp nhận và tách sản phẩm lỏng (slugcatcher): Sự tích tụ sản phẩm lỏng (condensate) không được kiểm soát có thể dẫn đến hiện tượng ngập lụt slugcatcher tại Nhà máy xử lý khí Nam Côn Sơn tại Dinh Cố, gây gián đoạn cấp khí ảnh hưởng đến an ninh năng lượng quốc gia.



Hình 2. Giản đồ pha của dòng hỗn hợp của Lô 06.1/Lô 05-2&05-3/Lô 11.2 [1].



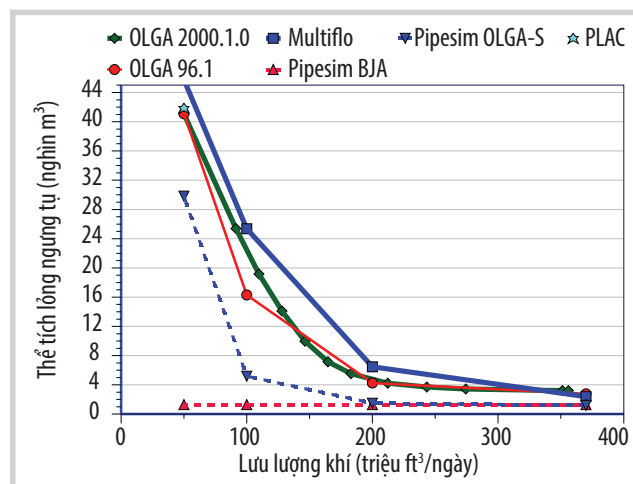
Hình 3. Đặc tính dòng chảy của dòng chất lưu 2 pha [5].

2.2. Giải pháp ứng dụng mô phỏng động theo thời gian thực

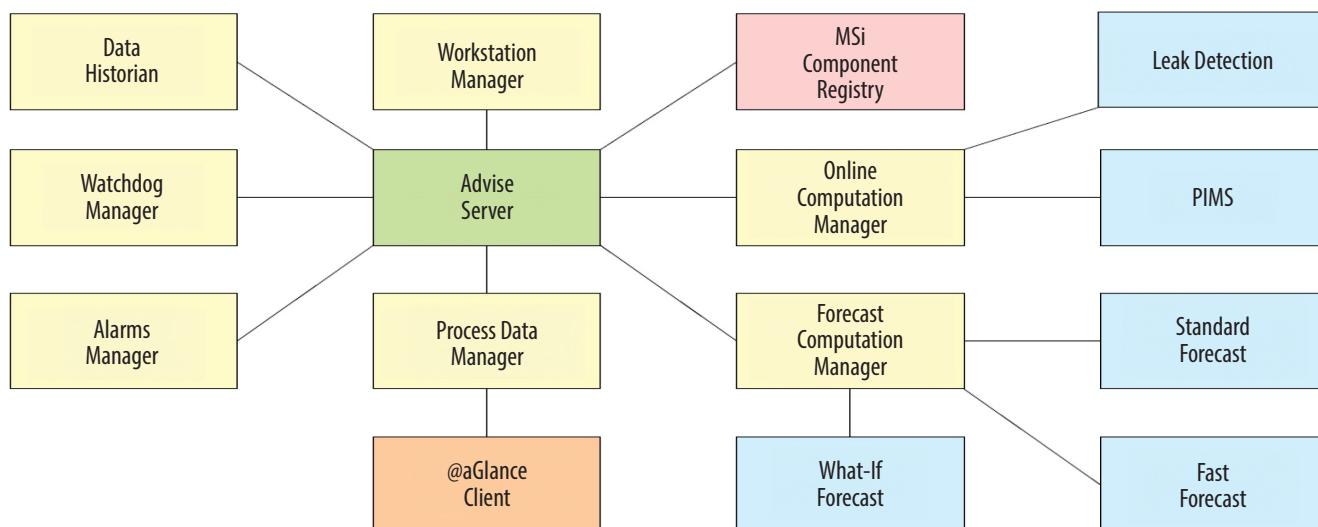
2.2.1. Tích hợp phần mềm MSI

- Để giải quyết các thách thức trên, NCSP đã nghiên cứu và hợp tác với Multi Phase Solution Inc. (MSI, nay thuộc WOOD Group) để phát triển phần mềm mô phỏng động dựa trên nền tảng OLGA - công cụ chuyên biệt cho mô phỏng dòng chảy đa pha. Sau hơn 1 năm nghiên cứu, phần mềm mô phỏng động theo thời gian thực MSI đã được hoàn thiện và triển khai thành công tại NCSP từ năm 2003.

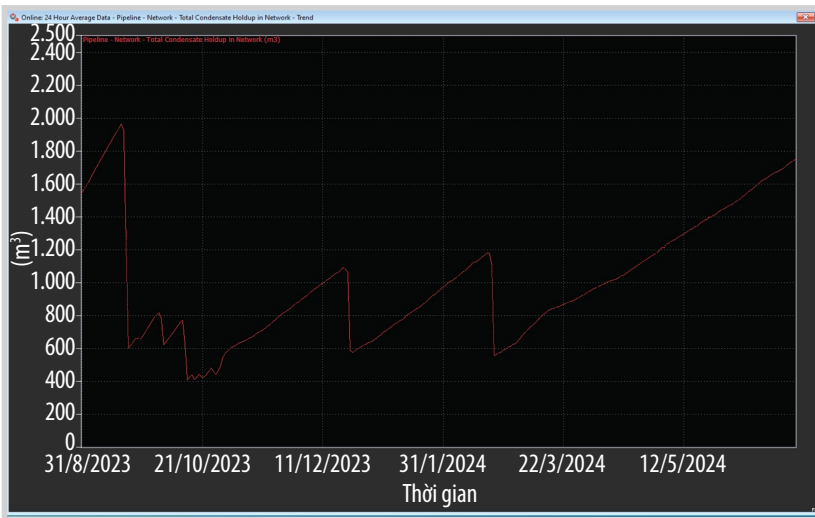
- Phần mềm MSI được tích hợp với hệ thống điều khiển ICS của NCSP, thu nhận dữ liệu vận hành thực tế (lưu lượng, áp suất, nhiệt độ) từ các giàn ngoài khơi của 4 chủ khí và Nhà máy xử lý khí Nam Côn Sơn để tính toán mô phỏng liên tục theo thời gian thực (real time) các thông



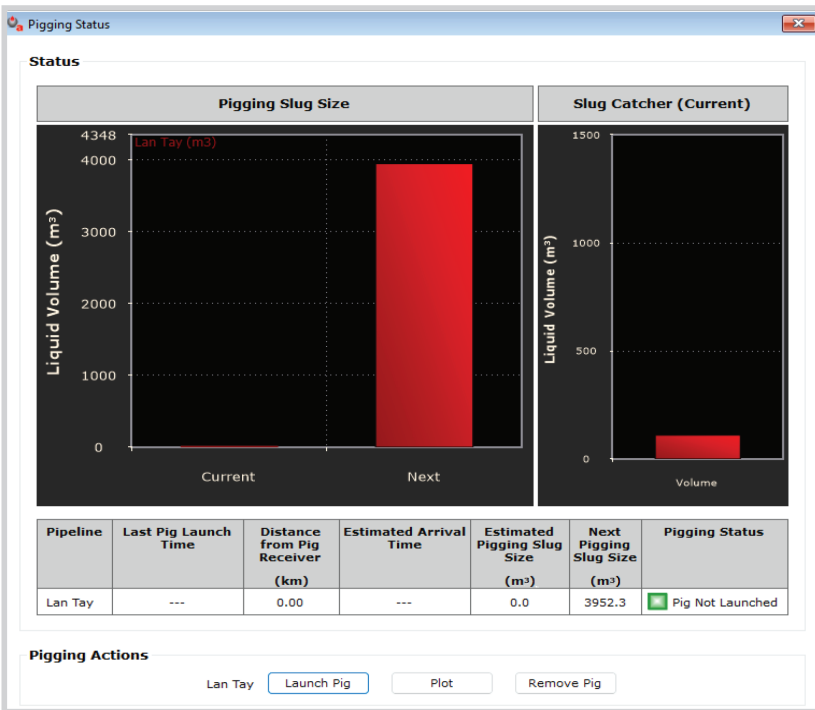
Hình 4. Mối tương quan giữa lượng sản phẩm lỏng ngưng tụ và lưu lượng khí [1].



Hình 5. Sơ đồ cấu trúc phần mềm MSI.



Hình 6. Giản đồ sản phẩm lỏng tích lũy hình thành trong đường ống.



Hình 7. Màn hình chức năng phóng thoi của MSI.

Bảng 1. Bảng so sánh dự báo thời gian di chuyển của thoi, lượng sản phẩm lỏng đẩy về nhà máy so với số liệu thực tế

TT	Thời gian	Lượng lỏng đo thực tế (m ³)	Lượng lỏng đo dự báo (m ³)	Lưu lượng khí trung bình (Msm ³ /ngày)	Thời gian di chuyển thực tế (giờ)	Thời gian di chuyển dự kiến (giờ)	Tỷ lệ rò rỉ chất lỏng (%)
0	8/10/2022	480		7,8	60,6	60,1	0
1	28/11/2022	670	637	9,51	45,3	45,1	0
2	5/12/2022	110	86	9,33	50,47	50,8	0
3	10/1/2023	525	647	8,87	41,6	41,6	0
4	9/3/2023	850	808	7,8	43,8	43,5	0
5	11/5/2023	1.085	794	9,53	42,1	41,3	0
6	20/7/2023	1.010	997	8,63	56,2	55,3	0
7	15/9/2023	610	671	7,25	61,6	61,1	0
8	29/9/2023	172	134	4,86	90,5	90,1	0

số quan trọng đảm bảo đường ống khí Nam Côn Sơn vận hành an toàn, hiệu quả (Hình 6).

2.2.2. Các chức năng chính của phần mềm MSI [3]

- Quản lý sản phẩm lỏng tích tụ trong đường ống

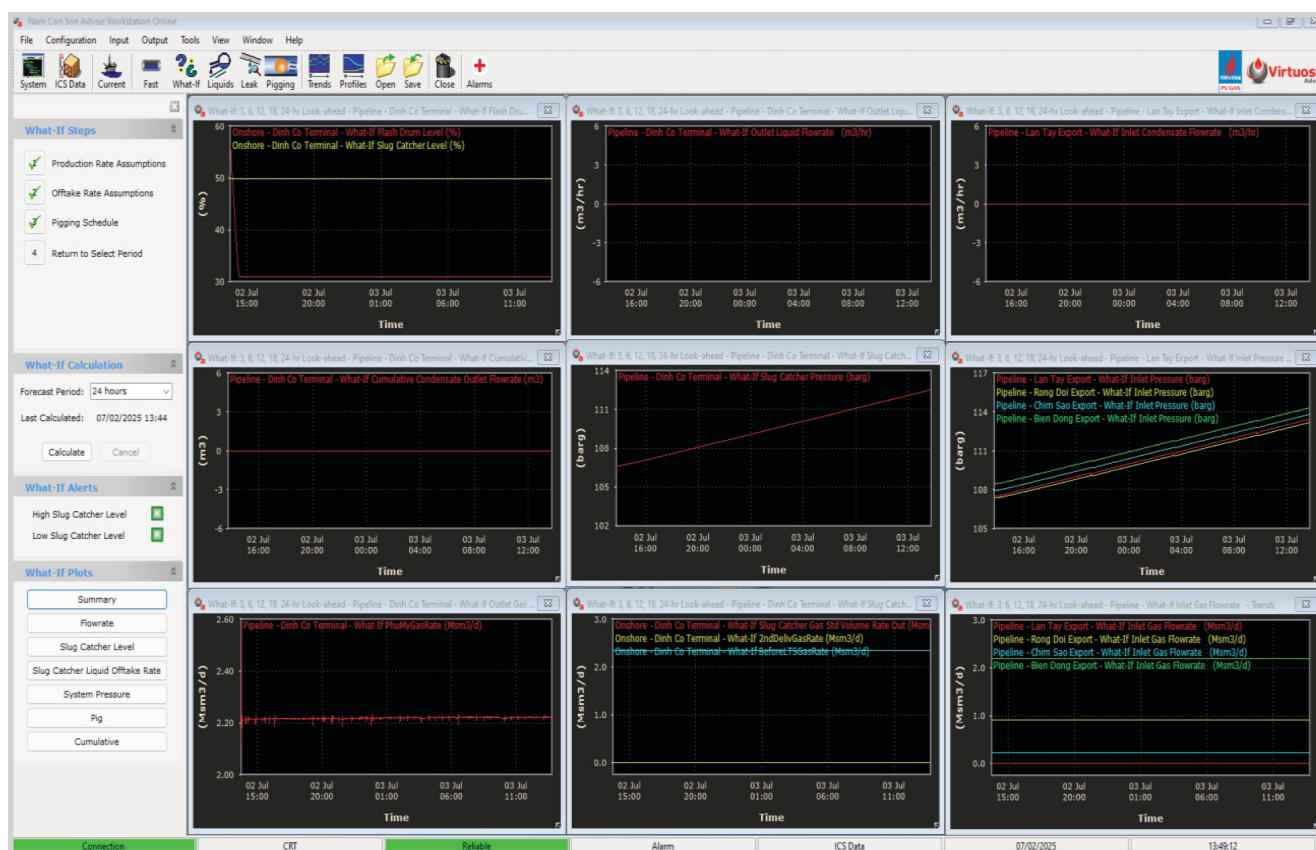
Tính toán lượng sản phẩm lỏng tích tụ theo thời gian thực (Hình 6), giúp xác định thời điểm phóng thoi đẩy sản phẩm lỏng về nhà máy xử lý, đảm bảo dòng chảy liên tục và an toàn.

- Chức năng phóng thoi đẩy sản phẩm lỏng từ giàn Lan Tây

+ Dựa vào chức năng tính toán sản phẩm lỏng tích tụ trong đường ống, NCSP sẽ chủ động lên kế hoạch phóng thoi đẩy sản phẩm lỏng về nhà máy nhằm giảm lượng sản phẩm lỏng trong đường ống và giao lại sản phẩm lỏng cho các chủ khí giúp đảm bảo vận hành an toàn, liên tục của hệ thống khí Nam Côn Sơn.

+ MSI có chức năng phóng thoi đẩy sản phẩm lỏng giúp NCSP theo dõi vị trí, vận tốc và thời gian di chuyển của thoi, dự báo lượng sản phẩm lỏng sẽ được đẩy về nhà máy với độ chính xác cao (Bảng 1 và Hình 7).

- Tính tổng năng lượng trong đường ống:



Hình 8. Chức năng What-if của phần mềm MSI.



Hình 9. Hình ảnh đám mây khí rò rỉ tại KP75.

Do hệ thống khí Nam Côn Sơn gồm 4 chủ khí nên cần có công cụ hỗ trợ tính toán năng lượng tổng trong đường ống nhằm phân bổ sản phẩm từ khi có chủ khí thứ hai Lô 11.2 năm 2006. Do đó, NCSP đã nghiên cứu và ứng dụng phần mềm MSI cho tính năng tính tổng năng lượng trong đường ống (Hình 8) liên tục theo thời gian thực nhằm phục vụ cho công tác hiệu chỉnh năng lượng với phần mềm Energy Components (EC) giúp phân bổ sản phẩm chính xác và tuân thủ các hợp đồng thương mại (allocation agreement).

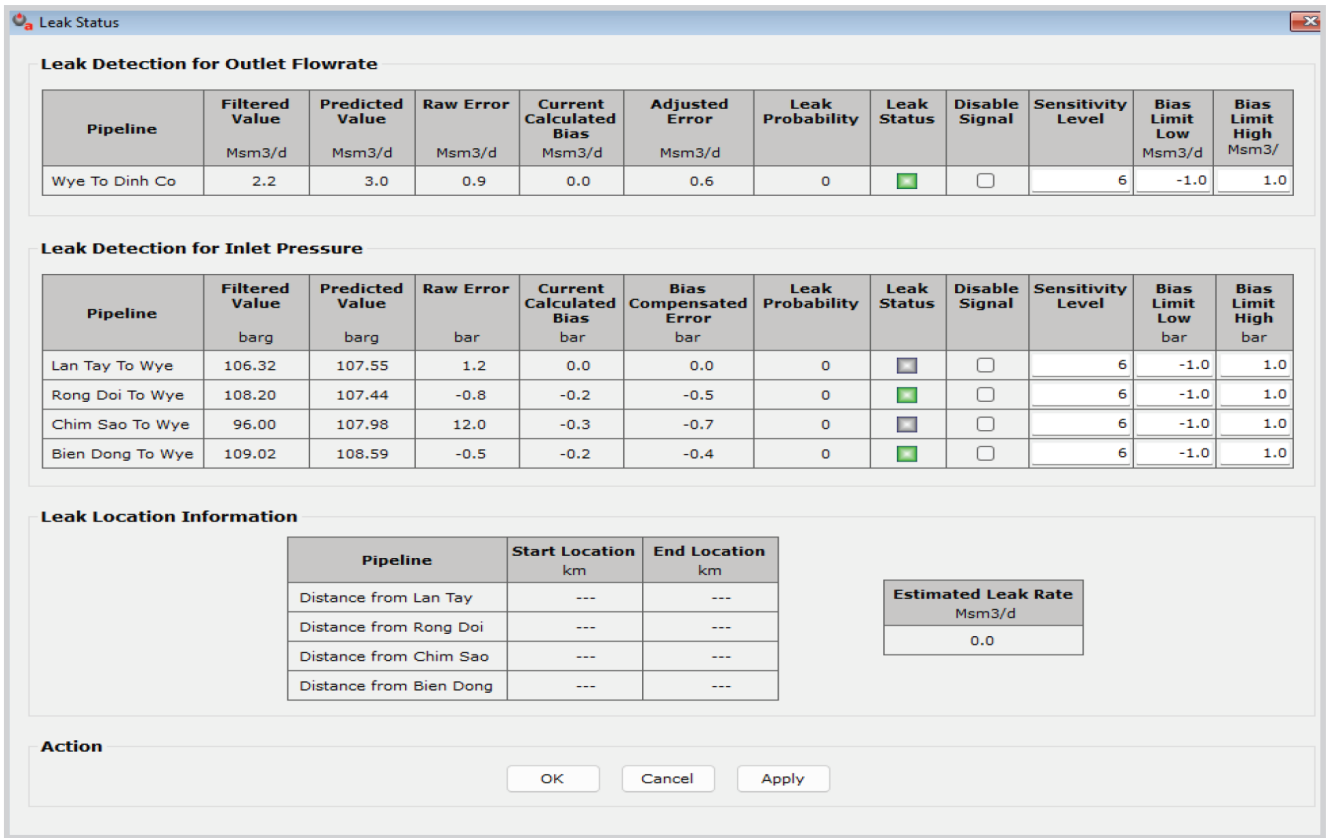
- Mô phỏng các kịch bản giả định (what-if) về vận hành:

Dựa vào dự báo nhu cầu khí từ trung tâm điều độ khí, áp suất hệ thống khí NCSP, vận hành viên NCSP dùng chức năng giả định

của phần mềm MSI để mô phỏng tính toán lưu lượng khí của từng chủ khí cần đưa vào đường ống trong thời gian tới để đảm bảo cung cấp khí theo cầu khí đồng thời vẫn đảm bảo hệ thống vận hành trong ngưỡng vận hành tối ưu. Việc này rất hữu ích cho NCSP trong việc điều tiết, vận hành an toàn hệ thống khí NCSP phức tạp gồm 4 chủ khí, đường ống 2 pha dài 371 km, nhu cầu khí thay đổi nhiều và thường xuyên do cạnh tranh của các nguồn năng lượng tái tạo, LNG.

- Chức năng phát hiện rò rỉ khí của đường ống 26" (leak detection)

+ Phần mềm MSI áp dụng đồng thời nhiều phương pháp để dự báo khả năng rò rỉ tiềm ẩn xảy ra trong hệ thống đường ống Nam Côn Sơn, bao gồm: (i) Mô hình toán học/mô phỏng vật lý chính xác dựa trên mô phỏng động khối lượng và áp suất trong đường ống; (ii) Phân tích thống kê xu hướng tín hiệu toàn diện gồm hiệu chỉnh trôi tín hiệu (drift compensation); (iii) Thuật toán nhận dạng mẫu (pattern recognition) nhằm nâng cao tốc độ phát hiện và khả năng dự đoán vị trí rò rỉ.



Hình 10. Chức năng phát hiện rò rỉ khí của đường ống 26".



Hình 11. Hình ảnh nhận thoi tại Nhà máy xử lý khí Nam Côn Sơn.

+ NCSP có thể theo dõi khả năng rò rỉ, vị trí rò rỉ, xác suất rò rỉ để có biện pháp kiểm tra, xác nhận và ứng phó kịp thời giúp đảm bảo vận hành an toàn liên tục của hệ thống khí Nam Côn Sơn. Thực tế phần mềm MSI đã giúp NCSP xác nhận khả năng bị rò rỉ và vị trí rò rỉ khí tại KP75 (tuyến ống nhánh tại Lô 12W) vào ngày 23/8/2013 (Hình 9).

- Tính toán áp suất cân bằng sau khi dừng hoạt động (settle out pressure)

MSI tính toán liên tục theo thời gian thực áp suất cân bằng sau khi dừng hoạt động giúp NCSP cân nhắc việc

điều tiết lưu lượng khí của các chủ khí kịp thời để vận hành hệ thống khí NCSP trong ngưỡng an toàn (dưới giá trị tối đa 130 barg).

- Trong 22 năm vận hành, NCSP đã sử dụng phần mềm MSI đảm bảo công tác quản lý sản phẩm lỏng và vận hành an toàn, hiệu quả. Tổng cộng NCSP đã thực hiện thành công 354 lần phóng thoi quét sản phẩm lỏng (wiper pig & sphere) và 4 lần phóng thoi thông minh (ILI) giám sát ăn mòn đường ống.

4. Kết luận

Việc sử dụng hiệu quả phần mềm mô phỏng MSI trong việc vận hành an toàn, tin cậy và hiệu quả hệ thống khí Nam Côn Sơn. NCSP đã vận chuyển an toàn gần 110 tỷ m³ khí và 2,7 triệu tấn condensate, góp phần đảm bảo an ninh năng lượng quốc gia.

Việc áp dụng mô phỏng động theo thời gian thực còn giúp NCSP đi trước trong chuyển đổi số ngành công nghiệp khí, khi dữ liệu vận hành thực tế liên tục được phân tích để ra quyết định quản lý lỏng chính xác, phân bổ sản phẩm chính xác và phối hợp vận hành dây chuyền khí Nam Côn Sơn an toàn, tin cậy và hiệu quả. Việc áp dụng kỹ thuật mô phỏng động theo thời gian thực là bước đột phá trong vận hành hệ thống đường ống 2 pha, giải quyết thành công các thách thức kỹ thuật phức tạp và đặt nền móng cho quá trình chuyển đổi số trong ngành công nghiệp khí Việt Nam. Trong tương lai, việc tích hợp trí tuệ nhân tạo và công nghệ số sẽ mở ra cơ hội tối ưu hóa hệ thống vận hành.

Lời cảm ơn

Nhóm tác giả trân trọng cảm ơn sự hỗ trợ từ BP, Statoil, Petrovietnam và các đơn vị tham gia nghiên cứu, xây dựng và vận hành hệ thống khí Nam Côn Sơn trong suốt hơn 22 năm qua.

Tài liệu tham khảo

- [1] Statoil, "Nam Con Son pipeline hydraulic study 1999", 2000.
- [2] BP, "Nam Con Son pipeline project, feasibility study report", 1999.
- [3] WOOD, "Virtuoso modeling technology", 2024.
- [4] Multiphase solution Inc., "Proposal for pipeline liquid management system for the Nam Con Son Gas project", 2001.
- [5] Multiphase Solution Inc., "MSI training for NCSP", 2007.

APPLICATION OF REAL-TIME DYNAMIC SIMULATION FOR SAFE AND EFFICIENT OPERATION OF THE NAM CON SON TWO-PHASE PIPELINE

Bui Tien Dung, Duong Quoc Tuan, Nguyen Thanh Ngoan, Ho Xuan Thanh

Nam Con Son Gas Pipeline Company (NCSP)

Email: ngoan.nguyen@ncsp.com.vn

Summary

This paper presents the real-time dynamic simulation solution applied by Nam Con Son Gas Pipeline Company (NCSP) to ensure the safe and efficient operation of the 371 km two-phase pipeline (gas and condensate). The simulation software MSI, developed based on the OLGA platform, has been used by NCSP to monitor liquid holdup, predict operating scenarios, detect leaks, and optimize pipeline operations. The successful use of this solution has enabled the delivery of nearly 110 billion m³ of gas and 2.7 million tons of condensate over the last 22 years, contributing significantly to the national energy security and laying the foundation for digital transformation in Vietnam's gas industry.

Key words: Real-time simulation, multiphase pipeline, OLGA, MSI, gas pipeline operations, Nam Con Son pipeline.