

TỐI ƯU CHI PHÍ QUẢN LÝ SỰ TOÀN VỆ ĐƯỜNG ỐNG NGẦM BẰNG NGHIÊN CỨU MÔ PHỎNG KẾT HỢP THỰC NGHIỆM VÀ KIỂM ĐỊNH TRÊN CƠ SỞ RỦI RO (RBI)

Trần Công Nhật¹, Ngô Hữu Hải¹, Đặng Anh Tuấn¹, Nguyễn Thị Lê Hiền², Lê Xuân Vinh³

¹Công ty Điều hành Dầu khí Biển Đông

²Viện Dầu khí Việt Nam

³Bureau Veritas Việt Nam

Email: nhattc@biendongpoc.vn

Tóm tắt

Để quản lý sự toàn vẹn đường ống ngầm, các công ty dầu khí thường định kỳ phóng thoi thông minh - giải pháp vốn rất tốn kém và rủi ro, đặc biệt nếu dùng thiết bị nhận thoi ngầm. Công ty Điều hành Dầu khí Biển Đông (BIENDONG POC) đã triển khai các nghiên cứu mô phỏng kết hợp thực nghiệm và kiểm định trên cơ sở rủi ro (RBI). Giải pháp này đã giúp BIENDONG POC quản lý tốt hơn rủi ro vận hành và ứng cứu khẩn cấp đường ống, qua đó xác định thời gian yêu cầu phóng thoi thông minh là 10 năm sau khi bắt đầu vận hành, thay vì định kỳ 5 năm như trước đây, giúp giảm thiểu rủi ro và tiết kiệm đáng kể thời gian và chi phí vận hành.

Từ khóa: Đánh giá ăn mòn, kiểm tra đường ống trên cơ sở rủi ro (RBI), mô phỏng đường ống, phóng thoi thông minh, tối ưu chi phí.

1. Giới thiệu

Các đường ống ngầm thường được đặt dưới đáy biển có nguy cơ ăn mòn cao do tiếp xúc với môi trường nước biển (bên ngoài đường ống) và CO₂, H₂S, acid hoặc oxy hòa tan... (bên trong đường ống).

Để bảo vệ chống ăn mòn bên ngoài đường ống ngầm, lớp bọc phủ kết hợp với bảo vệ cathode sử dụng anode hy sinh là giải pháp hữu hiệu. Khi thiết kế hợp lý, chất lượng anode hy sinh đảm bảo yêu cầu, tiếp xúc điện giữa anode và công trình tốt/anode không bị rơi rụng thì đường ống được đảm bảo an toàn không bị ăn mòn bên ngoài.

Đối với quá trình ăn mòn bên trong, tốc độ ăn mòn phụ thuộc vào điều kiện vận hành (nhiệt độ, áp suất), hàm lượng tạp chất gây ăn mòn trong dòng lưu chất... Việc kiểm tra, kiểm soát tốc độ ăn mòn bên trong nhằm dự báo các nguy cơ hư hỏng, đảm bảo tính toàn vẹn cho đường ống gặp nhiều khó khăn, đòi hỏi chi phí rất lớn do đường ống đặt sâu dưới đáy biển và khó tiếp cận, bên ngoài được bọc và phủ rất dày.

Để kiểm tra hư hỏng bên trong đường ống ngầm, giải pháp phóng thoi thông minh cho phép xác định chiều dày còn lại của đường ống, nhận diện các khuyết tật, hư

hỏng, mất kim loại (nếu có) đồng thời làm sạch các bụi bẩn, tạp chất, cặn và sản phẩm ăn mòn... bám trên bề mặt bên trong đường ống. Tuy nhiên, chi phí phóng thoi rất lớn và tiềm ẩn các rủi ro nếu xảy ra sự cố, đặc biệt đối với các đường ống sử dụng thiết bị nhận thoi ngầm.

Trong thực tế và theo các quy chuẩn trong nước, tần suất kiểm tra đường ống biển có thể được tiến hành định kỳ trên cơ sở thời gian hoạt động (time based inspection) hoặc trên cơ sở đánh giá rủi ro của đường ống (risk based inspection - RBI) [1]. Cách quản lý tính toàn vẹn của đường ống ngầm bằng cách kiểm tra định kỳ trên cơ sở thời gian vận hành, yêu cầu kiểm tra với tần suất ít nhất là 5 năm/lần. Việc kiểm tra định kỳ theo thời gian tiềm ẩn các rủi ro đối với các vị trí, đường ống có nguy cơ ăn mòn cao đồng thời tốn kém đối với các đường ống nguy cơ ăn mòn thấp. Do đó, các công ty dầu khí ưu tiên áp dụng quản lý tính toàn vẹn của đường ống trên cơ sở RBI, trong đó tập trung kiểm tra với tần suất cao đối với các đường ống ngầm tiềm ẩn rủi ro cao và giảm tần suất kiểm tra đối với các đường ống rủi ro thấp, cho phép tối ưu hóa chi phí phóng thoi thông minh mà vẫn đảm bảo sự toàn vẹn cho các đường ống ngầm.

Đường ống xuất khí thương phẩm của BIENDONG POC có đường kính 20", dài 44km kết nối giữa giàn Hải Thạch và đường ống Nam Côn Sơn. Đường ống được

chế tạo bằng thép carbon, thiết kế nhằm vận chuyển khí khô với tuổi thọ 25 năm và mức độ ăn mòn cho phép (corrosion allowance) 1mm cho toàn bộ tuổi đời dự án. Trước khi vận hành, đường ống đã được phóng thoi để đẩy lượng nước sục rửa đường ống ra ngoài và sau đó sử dụng monoethylene glycol (MEG) để hấp thụ lượng nước tồn dư. Sau đó, đường ống sử dụng khí khô thương phẩm lấy từ đường ống chính Nam Côn Sơn chảy ngược về giàn để phục vụ công tác chạy thử giàn.

Sau 6 ngày chạy thử giàn, nhiệt độ điểm sương nước (water dew point) trong đường ống (đo ở đầu giàn Hải Thạch) ổn định trong khoảng -26°C đến -30°C , xấp xỉ bằng nhiệt độ điểm sương nước tại các đầu vào và đầu ra của khí thương phẩm (khí khô) trong hệ thống đường ống Nam Côn Sơn, chứng tỏ không tồn tại nước dưới dạng lỏng (free water) trong đường ống, do đó tốc độ ăn mòn được dự đoán gần như không đáng kể. Để đánh giá rủi ro về ăn mòn trong trường hợp xấu nhất (gần như phi thực tế), dựa trên giả định tồn tại một lượng nước sót lại trong đường ống, được hấp thụ trong MEG sau quá trình chạy thử, các nghiên cứu về phân bố MEG, nước trong đường ống kết hợp với các đánh giá ăn mòn đã được thực hiện.

Nghiên cứu đã thực hiện mô phỏng bằng phần mềm OLGA kết hợp với tính toán và thực nghiệm để xác định phân đoạn có khả năng ăn mòn cao nhất. Các kết quả thu được làm cơ sở đánh giá RBI cho đường ống xuất khí thương phẩm của BIENDONG POC nhằm giảm thời gian kiểm tra đường ống ngầm, cho phép tối ưu hóa chi phí phóng thoi, giảm thiểu rủi ro mà vẫn đảm bảo hệ thống vận hành an toàn và hiệu quả, mang lại lợi ích về kinh tế và kỹ thuật.

2. Phương pháp nghiên cứu, đánh giá

2.1. Quản lý tính toàn vẹn đường ống ngầm trên cơ sở đánh giá rủi ro

Trong quản lý tính toàn vẹn của công trình trên cơ sở đánh giá rủi ro, mức độ rủi ro là ma trận tổ hợp của xác suất hư hỏng và hậu quả của hư hỏng nếu xảy ra. Việc phân loại mức độ rủi ro từ thấp đến cao cho phép quyết định tần suất kiểm tra đường ống và các phương pháp kiểm tra tương ứng. Việc đánh giá rủi ro được tiến hành theo các bước sau [2]:

Bước 1: Phân chia đường ống thành các phần đường ống có mức rủi ro tương đồng để đánh giá.

Bước 2: Đánh giá xác suất hư hỏng của các phần đường ống. Các nguy cơ hư hỏng được chia ra thành nhóm để đánh giá gồm:

- Nhóm nguy cơ hư hỏng do lỗi thiết kế, chế tạo, lắp đặt, chạy thử;
- Nhóm nguy cơ hư hỏng do ăn mòn: ăn mòn bên trong, ăn mòn bên ngoài, bào mòn/xói mòn;
- Nhóm nguy cơ hư hỏng do bên thứ 3: va chạm, tàu bè, kéo thả neo, vật nặng rơi rớt, các hoạt động thi công lắp đặt và các hoạt động hàng hải khác;
- Nhóm nguy cơ hư hỏng do kết cấu: nhịp hẫng, co giãn nhiệt, mất ổn định đáy biển, quá tải tĩnh, mỏi cơ học, oằn (buckling);
- Nhóm nguy cơ hư hỏng do tự nhiên: bão, động đất, sụt lún, sấm sét;
- Nhóm nguy cơ hư hỏng do lỗi vận hành.

Bước 3: Phân tích và đánh giá hậu quả hư hỏng của các phần đường ống theo 3 khía cạnh: an toàn (tính đến hậu quả theo sự hiện diện của con người tại phần đường ống), môi trường và kinh tế (tính hậu quả theo kích cỡ đường ống).

Bước 4: Phân tích và đánh giá rủi ro của các phân đoạn, rủi ro được cấu thành từ xác suất và hậu quả hư hỏng được đánh giá ở bước 2 và 3.

Bước 5: Đưa ra chương trình kiểm định bao gồm thời gian và phương pháp kiểm định cho các phân đoạn và cả đường ống. Chương trình kiểm định được xác định dựa vào mức độ rủi ro của từng phân đoạn ống như đánh giá ở bước 4.

2.2. Nghiên cứu mô phỏng và thực nghiệm phục vụ đánh giá rủi ro đường ống

Đường ống xuất khí thương phẩm được chế tạo bằng thép carbon, được sử dụng để vận chuyển khí thương phẩm có nồng độ CO_2 từ 4 - 6%. Thông thường, nếu không có nước, quá trình ăn mòn sẽ không xảy ra. Tuy nhiên nếu tồn tại lượng ẩm trong dòng môi chất khí, quá trình ăn mòn sẽ diễn ra theo cơ chế ăn mòn điện hóa. Quá trình ăn mòn điện hóa trong CO_2 là quá trình ăn mòn cục bộ, đây là nguy cơ cao nhất gây ra hư hỏng bên trong đường ống.

Trên thực tế, chỉ sau 6 ngày đưa vào vận hành, kết quả đo nhiệt độ điểm sương của khí trong đường ống đã tương đối ổn định và dao động trong khoảng -26 đến -30°C , xấp xỉ với nhiệt độ điểm sương của khí đầu vào và đầu ra của hệ thống đường ống Nam Côn Sơn. Điều đó cho phép dự báo lượng nước dạng lỏng (free water) gần như không tồn tại trong đường ống của BIENDONG POC.

Tuy nhiên, để đánh giá rủi ro về ăn mòn bên trong đường ống, một nghiên cứu mô phỏng bằng phần mềm OLGA cho phép tính toán phân bố lượng lỏng tồn dư trong đường ống đã được thực hiện.

Trên cơ sở kết quả tính toán phân bố lượng lỏng, các đánh giá mô phỏng bằng phần mềm Corrosion Predict 5.0 và nghiên cứu mô phỏng thực nghiệm trong Phòng thí nghiệm sử dụng điện cực đĩa quay (RCE) trên hệ thiết bị điện hóa Parstat 2273 và thử nghiệm ăn mòn trong thiết bị nhiệt độ cao, áp suất cao Autoclave đã được tiến hành tại Viện Dầu khí Việt Nam (VPI) để xác định tốc độ và mức độ ăn mòn kim loại. Các đánh giá và thử nghiệm ăn mòn được tiến hành trong điều kiện mô phỏng với nhiệt độ dao động từ 45°C (tương ứng với nhiệt độ khí vào đường

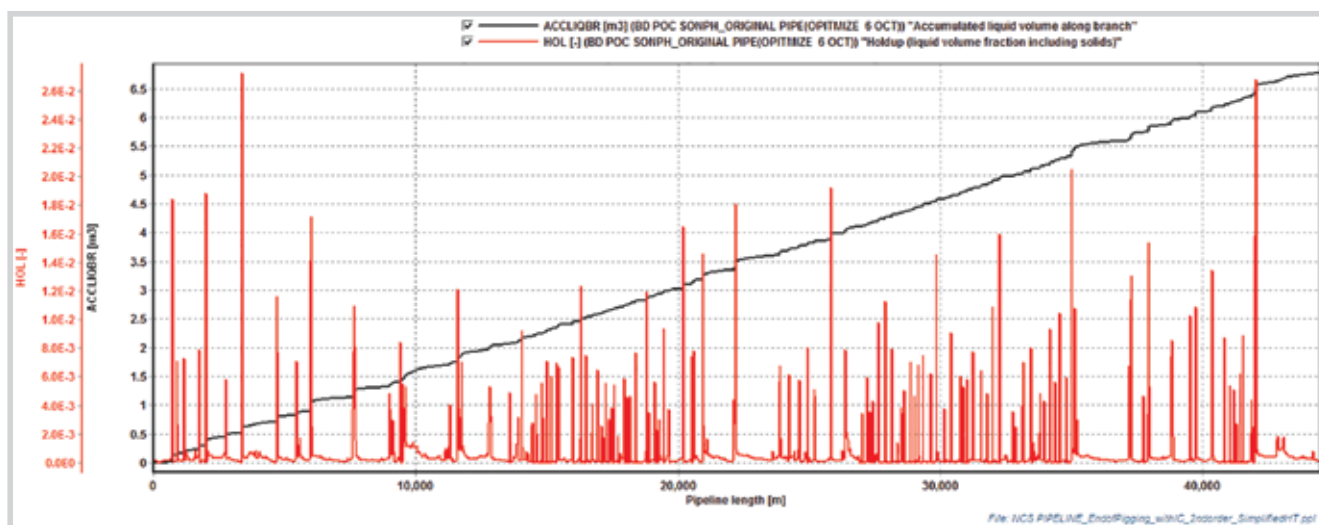
ống) giảm tới nhiệt độ 28°C (tương ứng với nhiệt độ khí ra khỏi đường ống), tương ứng với áp suất tổng 140bar xuống 120bar và nồng độ CO₂ là 4%.

3. Kết quả và thảo luận

3.1. Kết quả nghiên cứu mô phỏng bằng phần mềm OLGA

Trên cơ sở các thông số thực tế của đường ống trước và trong quá trình vận hành, phần mềm OLGA cho phép mô phỏng lại sự phân bố của lượng lỏng và thành phần nước lỏng trong đường ống tại các thời điểm khác nhau.

Hình 1 biểu diễn kết quả phân bố lượng lỏng trong đường ống sau khi phóng thoi và Hình 2 biểu diễn kết quả phân bố hàm lượng nước sau 1 tháng đường ống vận hành.



Hình 1. Mô phỏng phân bố lượng lỏng trong đường ống sau khi phóng thoi



Hình 2. Mô phỏng phân bố lượng lỏng trong đường ống sau 1 tháng bắt đầu khai thác

Các kết quả mô phỏng thu được cho thấy, tại thời điểm phóng thoi, một lượng lớn chất lỏng đã được đẩy ra khỏi đường ống và lượng chất lỏng còn lưu lại trong đường ống rất nhỏ. Sau khi sử dụng MEG để hấp thụ lượng chất lỏng còn lại, các kết quả chạy mô phỏng sau 1 tháng vận hành đường ống cho thấy nước có xu hướng bị đẩy dồn về phía cuối đường ống do tác động của dòng khí trong quá trình vận chuyển và sau 4 tháng vận hành gần như không còn chất lỏng trong đường ống. Kết quả phân bố hàm lượng MEG và nước trong đường ống dẫn khí thương phẩm theo thời gian được mô tả tóm tắt trên Bảng 1.

Từ tỷ lệ hàm lượng MEG/nước thu được bằng phần mềm OLGA, các thử nghiệm ăn mòn với các tỷ lệ MEG trong nước lần lượt là: 0%, 43%, 74,5%, 90% và 97,66% tương ứng mô phỏng theo điều kiện vận hành từ 8/2013 đến 4/2017 đã được tiến hành như mô tả trên Bảng 2.

Các kết quả thử nghiệm ăn mòn thu được cho thấy, tại các vị trí đáy đường ống có hiện tượng lắng đọng lỏng (hỗn hợp MEG và nước tồn dư), có hiện tượng ăn mòn xảy

ra, tốc độ ăn mòn phụ thuộc vào điều kiện thử nghiệm (sự có mặt của CO₂, tỷ lệ hàm lượng MEG/nước) và khi lượng hỗn hợp lỏng MEG và nước ngưng tụ bị đẩy ra khỏi đường ống hoàn toàn, tốc độ ăn mòn giảm xuống đáng kể và quá trình ăn mòn gần như không xảy ra. Kết quả thử nghiệm ăn mòn được thể hiện trên Bảng 3.

Trên cơ sở tốc độ ăn mòn bằng thực nghiệm, mức độ ăn mòn (tổn hao chiều dày đường ống) cực đại có thể được tính theo công thức sau:

$$\text{Chiều dày tổn hao} = \text{Tốc độ ăn mòn} \times \text{Thời gian ăn mòn}$$

Dựa vào các kết quả thử nghiệm ăn mòn, kết hợp với các kết quả phân bố MEG/nước dọc theo đường ống từ tháng 8/2013 đến 6/2014 bằng phần mềm OLGA cho phép dự đoán mô phỏng sự suy giảm chiều dày đường ống do ăn mòn dọc theo tuyến ống được biểu diễn như trên Hình 3.

Kết quả đánh giá mức độ ăn mòn dọc theo tuyến ống cho thấy tốc độ ăn mòn tại phần đường ống gần giàn là

Bảng 1. Kết quả mô phỏng phân bố hàm lượng MEG và nước trong đường ống dẫn khí thương phẩm đường kính 20" từ giàn Hải Thạch đến đường ống Nam Côn Sơn bằng phần mềm OLGA

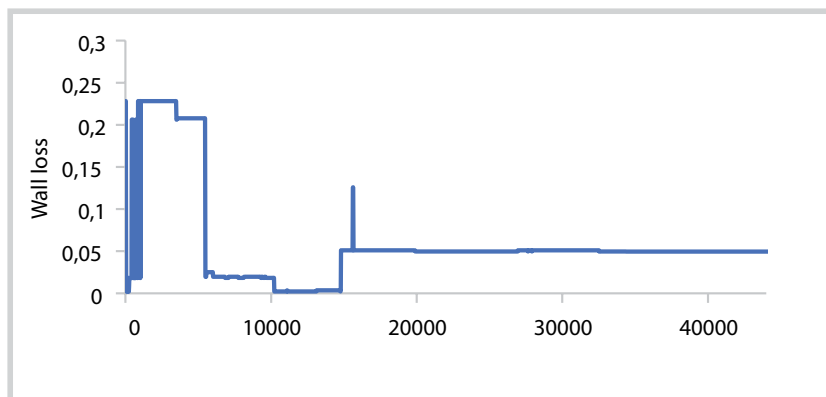
Thời gian	Lượng MEG (m ³)	Tỷ lệ phân bố MEG/nước		
		Thấp nhất	Trung bình	Cao nhất
8/2013	54		97,66/2,34	
9/2013 - 10/2013	56,29	43/57	74,5/25,5 - 90/10	≈ 100/0
10/2013 - 12/2013	53,7	43/57	53,8/46,2	56,5/43,5
1/2014 - 6/2014	0,0002	Khí khô (0,64 lít nước/ngày)		
6/2014 - 4/2017	Không còn MEG	Khí khô (0,64 lít nước/ngày)		

Bảng 2. Điều kiện thử nghiệm ăn mòn mô phỏng

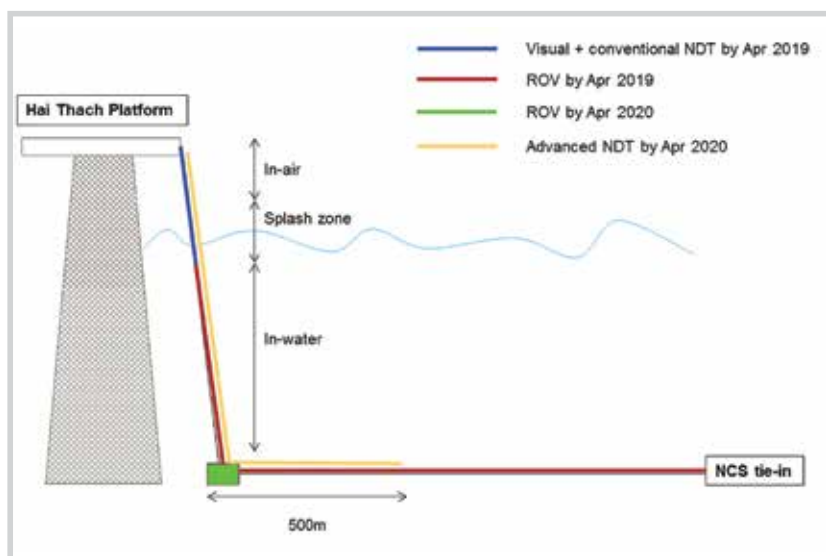
Thời gian	Điều kiện vận hành đường ống	Điều kiện thử nghiệm	Phương pháp thử nghiệm
8/2013	Bơm MEG hấp thụ lượng sục rửa đường ống tồn dư, nồng độ muối tối đa 225ppm	Thử nghiệm trong hỗn hợp MEG và nước muối 225ppm, tại nhiệt độ 28°C, áp suất thường	Phương pháp điện hóa RCE trên thiết bị Parstat 2273
9/2013 - 12/2013	Khí thương phẩm được bơm vào đường ống (nồng độ CO ₂ 4,19% và H ₂ O 0,000518%), nhiệt độ khí đầu vào 45°C, áp suất cực đại 140bar. Đường ống chứa lượng hỗn hợp MEG và nước tồn dư với nồng độ muối tối đa 225ppm	Thử nghiệm trong hỗn hợp MEG và nước muối 225ppm, tại nhiệt độ 45°C và 28°C, áp suất tổng 140bar, nồng độ CO ₂ trong khí 4%	Thử nghiệm trong điều kiện nhiệt độ cao, áp suất cao trong thiết bị Autoclave
1/2014 - 6/2014	Khí thương phẩm trong đường ống (nồng độ CO ₂ 4,19% và H ₂ O 0,000518%), nhiệt độ khí đầu vào 45°C, áp suất cực đại 140bar, không còn lượng lỏng ngưng tụ	Thử nghiệm mô phỏng bằng phần mềm trong điều kiện khí khô có nồng độ CO ₂ 4,19% và H ₂ O 0,000518%, nhiệt độ khí đầu vào 45°C, áp suất cực đại đầu vào 140bar	Phần mềm mô phỏng Corrosion Predict

Bảng 3. Kết quả đánh giá ăn mòn bằng phương pháp mô phỏng

Điều kiện thử nghiệm	Tốc độ ăn mòn (mm/năm)				
	0% MEG	43% MEG	74,5% MEG	90% MEG	97,66% MEG
Thử nghiệm RCE	0,2634	0,0871	0,0233	0,0072	0,0058
Thử nghiệm nhiệt độ cao, áp suất cao	0,5675	0,3703	0,1468	0,0823	0,0457
Mô phỏng bằng phần mềm	0,00483				



Hình 3. Kết quả đánh giá ăn mòn của đường ống



Hình 4. Chương trình kiểm tra đường ống theo kết quả đánh giá RBI

cao nhất do nhiệt độ vận hành của đường ống tại đây là cao nhất. Do đó, mặc dù lượng nước tồn tại trong đoạn ống gần giàn chỉ trong thời gian rất ngắn nhưng mức độ ăn mòn trong đoạn đường ống này là cao hơn cả. Với các kết quả mô phỏng thu được trong trường hợp xấu nhất, mức độ ăn mòn của đường ống vẫn nhỏ hơn nhiều so với mức độ ăn mòn cho phép theo thiết kế. Tuy nhiên cần lưu ý các kết quả này được tính toán và thực nghiệm dựa trên các mô phỏng phân bố chất lỏng trong đường ống trong trường hợp chỉ xét đến các hiện tượng thủy động lực học mà chưa tính đến quá trình bay hơi và nhả hấp phụ của hệ nước - MEG trong đường ống. Do đó, các kết quả thu được này mang tính chất định tính, cho phép đánh giá sơ bộ và dự báo được mức độ rủi ro do ăn mòn của các phần của đường ống để làm thông tin đầu vào cho các nghiên cứu, đánh giá rủi ro RBI.

3.2. Áp dụng kết quả đánh giá ăn mòn vào đánh giá RBI

Đường ống được chia ra các đoạn như sau: cụm pig launcher/receiver và phần ống đứng trong không khí (in-air riser), phần ống đứng chịu sóng (splash zone), phần ống đứng trong nước biển (in-water riser), phần tie-in dưới chân riser, phần ống 500m gần giàn (KP 0.0 - KP 0.5), phần ống từ KP 0.5 - KP 19.6, KP 19.6 - KP 44.3 và NCS tie-in spool. Kết quả đánh giá ăn mòn được sử dụng để tính xác suất hư hỏng của các đoạn ống. Theo đó đoạn

đường ống gần giàn có xác suất ăn mòn cao nhất, kết hợp với phân loại hậu quả hư hỏng theo hướng dẫn của DNV F116, đoạn đường ống có rủi ro ăn mòn bên trong cao nhất là đoạn ống đứng (riser) và 500m ống gần giàn.

Kết hợp với tất cả các thông tin đầu vào khác và áp dụng phương pháp RBI như trình bày ở mục 2.2, kết quả cho chương trình kiểm tra đường ống như Hình 4.

Không chỉ kiểm tra bên ngoài bằng ROV (Remotely operated underwater vehicle) và chụp NDT (Non-destructive Testing) cho đoạn ống đứng trên mặt nước, đường ống cần được kiểm tra NDT cho ống đứng và 500m gần giàn. Chương trình kiểm tra này giúp BIENDONG POC tiết kiệm hơn 20 triệu USD chi phí phóng thoi thông minh cho cả đường ống, giảm rủi ro có thể phát sinh trong quá trình phóng và nhận thoi ngầm, đặc biệt không phải dừng sản xuất để thực hiện công việc này (có thể lên đến 45 ngày) [3].

3. Kết luận

Việc áp dụng phương pháp kiểm tra trên cơ sở rủi ro kết hợp với nghiên cứu mô phỏng và đánh giá ăn mòn cho đường ống xuất khí thương phẩm của BIENDONG POC đã giúp giảm thời gian yêu cầu phóng thoi thông minh từ 5 năm lên tối thiểu 10 năm sau khi bắt đầu vận hành, giúp giảm thiểu rủi ro và tiết kiệm đáng kể chi phí vận hành. Phương pháp có thể được áp dụng cho các đường ống ngầm có điều kiện tương tự.

Tài liệu tham khảo

1. Bộ Giao thông Vận tải. Quy chuẩn kỹ thuật quốc gia về phân cấp và giám sát kỹ thuật hệ thống đường ống biển. QCVN 69: 2014/BGTVT. 7/4/2014.
2. DNV. Integrity management of submarine pipeline systems. DNV-RP-F116. 2015.

3. BIENDONG POC. *Báo cáo kỹ thuật - phương án phóng thoi thông minh cho đường ống xuất khí của giàn Hải Thạch*. 8/6/2015.

4. E.Zakarian, H.Holm, D.Larrey. *Discretization methods for multiphase flow simulation of ultra-long gas-condensate pipelines*. 14th International Conference Multiphase Production Technology, Cannes, France. 17 - 19 June, 2009.

5. Michelle Gourd. *Profile indicator helps predict pipeline holdup, slugging*. 2000.

6. Jon Steinar. *Pressure drop in gas pipeline*. 2011.

7. M.B.Kermani, L.M.Smith. *CO₂ corrosion control in oil and gas production*. Institute of Materials. 1997.

8. Dian Ekawati. *Effect of temperature, bicarbonate, and MEG concentration on pre-corroded carbon steels*. University of Stavanger. 2011.

OPTIMISATION OF PIPELINE INTEGRITY MANAGEMENT COST BY SIMULATION IN COMBINATION WITH EXPERIMENTAL AND RISK BASED INSPECTION (RBI) STUDY

Tran Cong Nhat¹, Ngo Huu Hai¹, Dang Anh Tuan¹, Nguyen Thi Le Hien², Le Xuan Vinh³

¹Bien Dong Petroleum Operating Company (BIENDONG POC)

²Vietnam Petroleum Institute (VPI)

³Bureau Veritas Vietnam

Email: nhattc@biendongpoc.vn

Summary

Subsea pipeline integrity management requires frequent launching of intelligent pig which involves very high risk and cost, especially if using subsea pig receiver. BIENDONG POC has conducted simulation in combination with experimental and risk-based inspection (RBI) studies. This solution helped BIENDONG POC to better manage the operational and emergency risks to subsea pipelines, and determine the required intelligent pigging time to be 10 years after first gas, instead of 5 years as previous settings, thus reducing risks and significantly saving time and operational cost.

Key words: Corrosion assessment, risk-based inspection, pipeline simulation, intelligent pigging, cost optimisation.