

NGHIÊN CỨU TỐI ƯU CHI PHÍ QUẢN LÝ SỰ TOÀN VỆN ĐƯỜNG ỐNG NGẦM BẰNG MÔ PHỎNG KẾT HỢP THỰC NGHIỆM VÀ KIỂM ĐỊNH TRÊN CƠ SỞ RỦI RO (RBI) VÀ KIỂM TRA KHÔNG PHÁ HỦY NÂNG CAO (ADVANCED NDT)

Trần Công Nhật, Lý Văn Dao, Nguyễn Trọng Nghiêm, Đặng Anh Tuấn, Ngô Hữu Hải

Công ty Điều hành Dầu khí Biển Đông

Email: nhattc@biendongpoc.vn

<https://doi.org/10.47800/PVJ.2022.03-03>

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) và kiểm tra không phá hủy nâng cao bằng công nghệ kiểm tra khuyết tật bằng phonon (phonon diagnostic technique, PDT). Chuỗi giải pháp này đã thay thế công việc phóng thoi thông minh, giúp BIENDONG POC tiết kiệm chi phí trên 32 triệu USD và tránh được tình trạng dừng sản xuất kéo dài.

Từ khóa: Đường ống ngầm, phóng thoi, kiểm tra không phá hủy nâng cao, kiểm định trên cơ sở rủi ro, kiểm tra khuyết tật bằng phonon, đường ống BD-PL02.

1. Giới thiệu

Theo thiết kế và quy chuẩn Việt Nam (QCVN 69-2014/BGTVT), đường ống ngầm phải được kiểm tra tình trạng bên trong định kỳ 5 năm/lần. Hiện nay, phương pháp kiểm tra bên trong phổ biến nhất là phóng thoi thông minh. Đối với đường ống xuất khí thương phẩm của BIENDONG POC (BD-PL02), do được đấu nối vào hệ thống đường ống Nam Côn Sơn nên việc phóng thoi rất phức tạp, tốn kém và kém khả thi. Theo thực tiễn trên thế giới, các đường ống không thể phóng thoi hoặc khó phóng thoi sẽ được quản lý sự toàn vẹn bằng phương pháp đánh giá trực tiếp kết hợp với một hoặc vài phương pháp kiểm tra không phá hủy (NDT) như: LRUT (long range ultrasonic thickness) hoặc acoustic emission tùy vào sự chấp thuận của cơ quan đăng kiểm nước sở tại [1]. Ở Việt Nam, hiện chưa có phương pháp thay thế phóng thoi thông minh nào được công bố chấp thuận.

Bài báo này giới thiệu chuỗi giải pháp của BIENDONG POC bao gồm nghiên cứu, đánh giá và kiểm tra không phá hủy cho đoạn ống đứng và 500 m ống gần giàn bằng công nghệ PDT, công nghệ mới với nhiều ưu điểm hơn các

phương pháp truyền thống và được Cục Đăng kiểm Việt Nam chấp thuận.

2. Công nghệ kiểm tra khuyết tật bằng phonon

2.1. Cơ sở vật lý

Khái niệm phonon được nhà vật lý Nga Igor Tamm (đạt giải Nobel vật lý) phát triển lần đầu tiên vào năm 1932. Theo đó, các vật rắn có cấu trúc mạng tinh thể dưới tác động của năng lượng hoặc ngoại lực sẽ phát ra năng lượng gọi là phonon.

Nguyên lý phát năng lượng phonon dựa trên sự tương tác giữa năng lượng hoặc ngoại lực với vật liệu tạo ra áp lực lên mạng tinh thể và gây ra ứng suất. Sự tương tác này có thể được biểu thị bằng phương trình tổng quát sau:

$$E + M = PhE \quad (1)$$

Sự tương tác giữa năng lượng bên ngoài E với vật liệu M bên trong vật thể sẽ sinh ra bức xạ phonon PhE được hình thành trong vật thể [2].

Đối với các vật thể có cấu trúc đồng nhất, dưới sự tác động của cùng năng lượng hoặc ngoại lực thì năng lượng phonon trong vật thể sẽ là đồng nhất. Ở những vị trí có sự khuyết tật vật liệu (như ăn mòn, mất vật liệu, mối, nứt...) do có sự thay đổi ứng suất cục bộ nên các thông số



Ngày nhận bài: 10/12/2021. Ngày phản biện đánh giá và sửa chữa: 10 - 24/12/2021.

Ngày bài báo được duyệt đăng: 21/3/2022.

phonon phát ra như cường độ, sự phân bố... sẽ có khác biệt. Các đầu dò phonon có thể ghi nhận sự khác biệt này và dựa trên các thông số đó, các mô hình tính toán có thể xác định vị trí, kích thước và mức độ nghiêm trọng của các khuyết tật trong vật thể. Đây chính là nguyên lý của công nghệ kiểm tra khuyết tật bằng phonon, PDT.

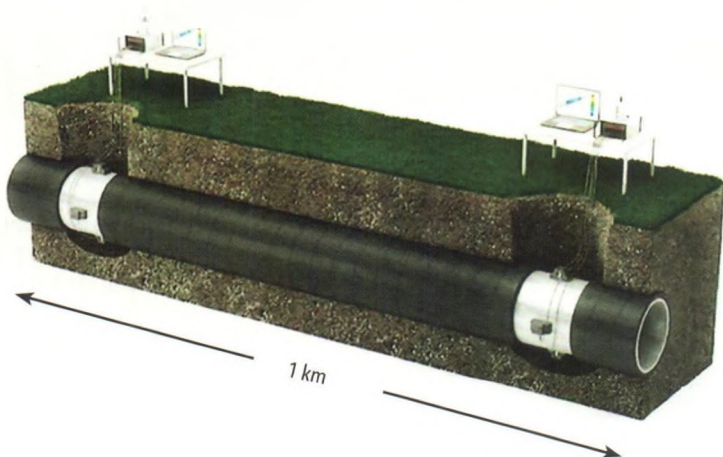
2.2. Hiện thực hóa công nghệ kiểm tra bằng phonon

PDT lần đầu tiên được áp dụng vào năm 1973 để kiểm tra các tàu ngầm của hải quân Liên Xô. Đến năm 1997, Diatech bắt đầu đưa công nghệ này vào sử dụng trong các lĩnh vực công nghiệp dân sự.

Trong lĩnh vực dầu khí, PDT chủ yếu được áp dụng để kiểm tra các đường ống (pipeline) bởi hiệu quả hơn phương pháp truyền thống là phóng thoi thông minh. Một yếu tố cần thiết để có thể sử dụng PDT là phải có ngoại lực hoặc năng lượng tác động vào vật thể cần kiểm tra. Đối với các đường ống dầu khí, áp suất lưu chất bên trong ống chính là nguồn ngoại lực đáp ứng yêu cầu này. Do đó, việc kiểm tra bằng PDT được thực hiện trong điều kiện đường ống vận hành bình thường và không gây gián đoạn hay bất kỳ ảnh hưởng nào đến sản xuất.



Hình 1. Sơ đồ bố trí thiết bị chế độ mặt.



Hình 2. Sơ đồ bố trí thiết bị chế độ tuyến.

PDT có thể được sử dụng ở 2 chế độ. Chế độ mặt (planar mode) dùng cho các đường ống chỉ có thể tiếp cận ở 1 đầu; các đầu dò phonon sẽ được lắp trên thành ống và có thể xác định các khuyết tật ở khoảng cách lên đến 500 m. Đối với các đường ống/đoạn ống có thể lắp đầu dò ở 2 đầu, chế độ tuyến (linear mode) có thể kiểm tra khoảng cách lên đến 1 km [2].

2.3. Ưu nhược điểm của công nghệ kiểm tra bằng phonon [3]

PDT có các ưu điểm sau:

- Là lựa chọn tốt đối với các đường ống không thể phóng thoi hoặc khó phóng thoi. Để áp dụng PDT, chỉ cần gắn các đầu dò bên ngoài thành ống là có thể kiểm tra ống, do đó tránh được những rủi ro liên quan đến phóng thoi thông minh như: kẹt thoi, rò rỉ hydrocarbon...;
- Thiết bị đo PDT gọn nhẹ, thời gian thực hiện nhanh;
- Mỗi lần đo PDT có thể kiểm tra được chiều dài đường ống lên đến 1 km, trong khi phương pháp LRUT chỉ kiểm tra được từng đoạn 15 - 25 m/lần đo;
- Khi đo PDT không cần dừng hệ thống đường ống, do đó không ảnh hưởng đến công tác vận hành;
- PDT đo được các kích thước thực tế như bề dày thành ống còn lại, chiều dài và rộng các vết nứt, trong khi công nghệ như LRUT không làm được;
- Có thể kiểm tra các đoạn ống nối bằng mặt bích trong khi LRUT không làm được;
- Không bị ảnh hưởng bởi tiếng ồn từ môi trường bên ngoài, không yêu cầu điều kiện vận hành đặc biệt. Đây là các ưu điểm so với công nghệ acoustic emission, vốn bị tác động bởi tiếng ồn bên ngoài và cần 24 giờ vận hành ổn định;
- Có thể kiểm tra các thành phần không thể tiếp cận được như: bồn chứa tường đôi hoặc đường ống chôn dưới đất mà không ảnh hưởng đến vận hành;

- Trường hợp đường ống bị kẹt thoi thông minh (in-line inspection, ILI), kiểm tra PDT có thể giúp xác định vị trí thiết bị kẹt;
- Kết quả kiểm tra PDT thể hiện dưới dạng hình ảnh 3D để có thể phân tích dưới nhiều góc;
- Không cần tiếp cận bên trong ống nên rất an toàn;
- Thời gian thu được kết quả sau khi hoàn thành kiểm tra rất ngắn (trong vòng 2 giờ).

Các hạn chế của công nghệ PDT như sau:

- Cần phá bỏ các lớp sơn, bọc ngoài... để đầu dò PDT có thể tiếp xúc với kim loại thành ống;
- Chỉ có thể phát hiện các khuyết tật đang hoạt động (active defect);
- Trường hợp tại 1 điểm có nhiều khuyết tật phát triển theo nhiều hướng khác nhau, công nghệ PDT chỉ ghi nhận khuyết tật nghiêm trọng nhất;
- Chiều dài kiểm tra tối đa thông thường là 1 km với chế độ tuyến và 500 m với chế độ mặt;
- Chiều dài tối đa của cáp truyền tín hiệu là 100 m, do đó trường hợp kiểm tra các thiết bị ngầm mà phải gắn đầu dò dưới nước thì độ sâu gắn đầu dò tối đa là 70 m.

3. Thí nghiệm áp dụng PDT tại Việt Nam

Mặc dù PDT đã được áp dụng tại Liên bang Nga, Malaysia, Pháp, Italy, Tây Ban Nha, Hàn Quốc, Trung Quốc, Brunei... tuy nhiên công nghệ này vẫn còn mới tại Việt Nam. Do đó, để kiểm chứng công nghệ này, BIENDONG POC đã tham gia giám sát thử nghiệm cùng đại diện Cục Đăng kiểm Việt Nam và chuyên gia của Bureau Veritas tại phòng thí nghiệm của Diatech ở Moscow vào tháng 10/2018.

Mẫu thử là đoạn ống thép dài 2,48 m, trên đó có 7 khuyết tật dạng nứt và 9 khuyết tật dạng ăn mòn, đại diện cho các dạng khuyết tật thường gặp của ngành dầu khí.

Mẫu thử được gia áp lên 4 bar_g và theo dõi trong 2 giờ để thu nhận tín hiệu phonon.

Dữ liệu được phần mềm phân tích và cho kết quả về thông tin các khuyết tật gồm: vị trí khuyết tật, dạng khuyết tật, kích thước, độ sâu, độ chắc chắn và độ nguy hiểm của khuyết tật. Các thông tin này sau đó được kiểm chứng lại bằng phương pháp siêu âm (UT) và phương pháp từ tính (MPI), phương pháp thẩm thấu (PT) và đối chiếu kết quả.

Việc kiểm tra thử được thực hiện theo cả 2 chế độ: chế độ tuyến gắn 8 đầu dò ở 2 đầu mẫu thử và chế độ mặt gắn 4 đầu dò ở 1 đầu mẫu thử.

Sau khi kết thúc thử nghiệm, Bureau Veritas đã có báo cáo đánh giá về việc áp dụng PDT trong kiểm tra và đánh giá RBI. PDT được chấp nhận sử dụng để kiểm tra đường ống và được đánh giá trong chương trình RBI với mức độ hiệu quả như Bảng 1. Kết quả này đã được thông qua bởi Cục Đăng kiểm Việt Nam, tạo điều kiện thuận lợi cho việc áp dụng PDT trong nước.

4. Các giải pháp và ứng dụng PDT tại BIENDONG POC

4.1. Đường ống xuất khí thương phẩm BD-PL02

Đường ống xuất khí thương phẩm BD-PL02 được đầu nối vào hệ thống đường ống Nam Côn Sơn để vận chuyển khí cho 4 giàn khai thác với rất nhiều thiết bị ngầm tại các điểm kết nối (như valve, bends, tee, wye, expander...) nên việc phóng thoi thông minh rất phức tạp và tốn kém. Theo thiết kế, có thể thực hiện 1 trong 2 phương án sau để phóng thoi vào đường ống BD-PL02:



Hình 3. Mẫu thử kiểm tra bằng PDT.

Bảng 1. Đánh giá của Bureau Veritas về việc áp dụng PDT trong kiểm tra và đánh giá RBI [3]

Dạng khuyết tật	Khả năng phát hiện khuyết tật bằng PDT	Độ chính xác	Mức hiệu quả trong RBI theo thang đánh giá 1 - 5
Ăn mòn đều (bên trong)	Có	Tốt	4
Ăn mòn đều (bên ngoài)	Có	Tốt	4
Ăn mòn điểm (bên trong)	Có	Tốt	4
Ăn mòn điểm (bên ngoài)	Có	Tốt	4
Nứt dưới bề mặt	Có	Khá	3
Nứt trên bề mặt	Có	Khá	3

- Phương án 1: Dùng thoi 2 cấp đường kính phóng vào đường ống Nam Côn Sơn và nhận thoi tại Dinh Cố Terminal;

- Phương án 2: Lắp thiết bị nhận thoi ngầm tại Nam Côn Sơn tie-in và phóng thoi trong điều kiện cô lập với hệ thống đường ống Nam Côn Sơn.

Với phương án 1, do phải sử dụng thoi 2 cấp đường kính và cần tiến hành hoán cải slug catcher của Dinh Cố Terminal nên mức chi phí khoảng 2 triệu USD. Thoi 2 cấp đường kính phải đi qua rất nhiều các thiết bị ngầm tại Nam Côn Sơn tie-in nên có rủi ro kẹt thoi, dẫn đến dừng hệ thống đường ống Nam Côn Sơn với mức thiệt hại lên đến 20 triệu USD/ngày. Mức phí bảo hiểm cho trường hợp này lên tới hàng triệu USD, tuy nhiên vẫn có nguy cơ ảnh hưởng đến cả hệ thống điện lưới quốc gia. Do đó, phương án này được xem là kém khả thi.

Với phương án 2, BIENDONG POC sử dụng tàu hỗ trợ lặn bão hòa để lắp thiết bị nhận thoi ngầm ở điểm nối vào đường ống Nam Côn Sơn, đóng van cô lập và dùng ống nối cao áp để đưa hydrocarbon lên tàu. Trên tàu phải trang bị hệ thống xử lý gồm thiết bị gia nhiệt, van giảm

áp, bình tách pha và đốc để đốt bỏ khí. Ước tính chi phí khoảng 12,7 triệu USD và phải dừng sản xuất khoảng 17 ngày với mức thiệt hại doanh thu lên đến 19,7 triệu USD.

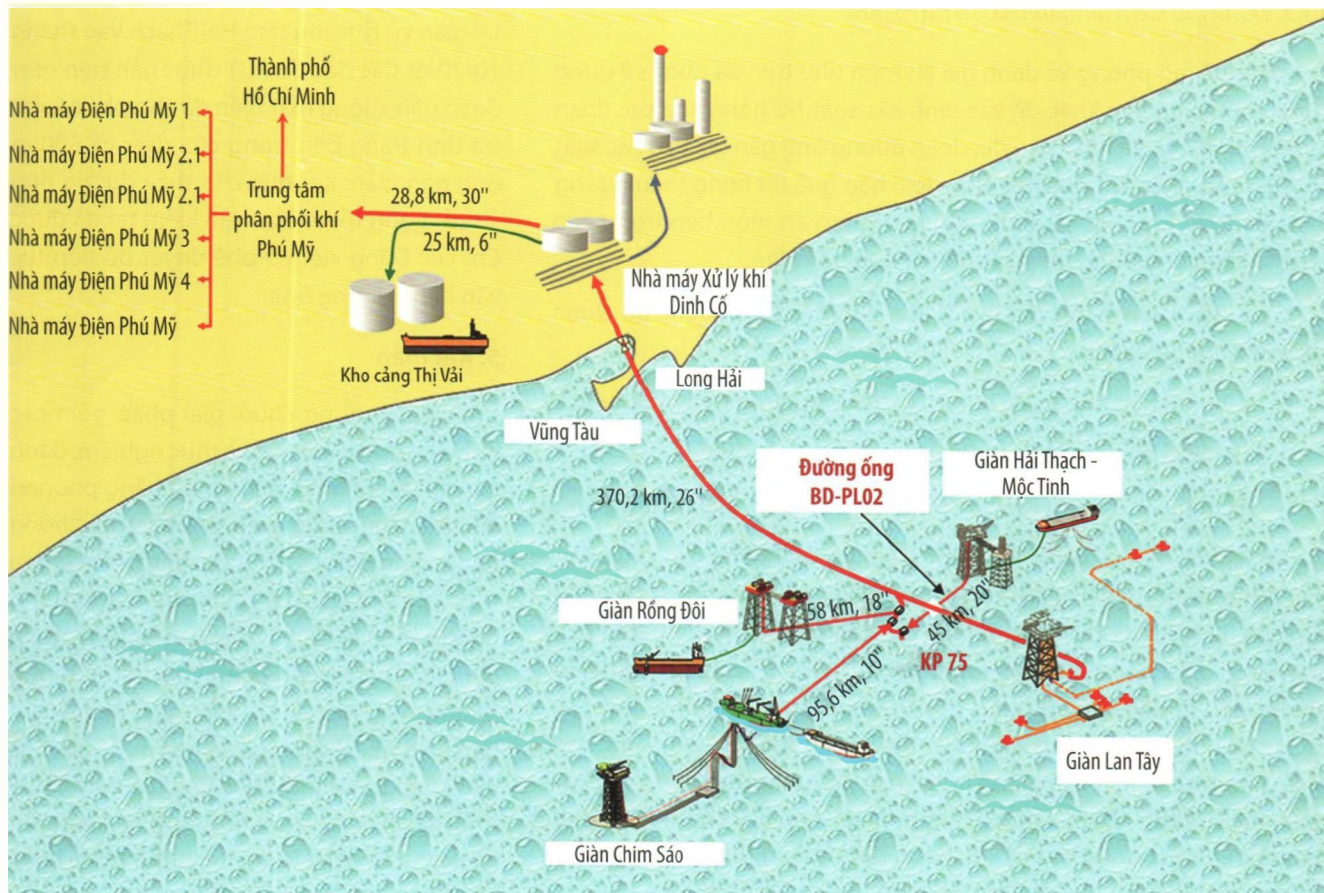
Nhằm tiết kiệm chi phí và tránh phải dừng sản xuất trong thời gian dài, BIENDONG POC đã nghiên cứu và áp dụng các giải pháp thay thế như sau:

4.1.1. Nghiên cứu mô phỏng sự phân bố của nước (giả định) trong đường ống

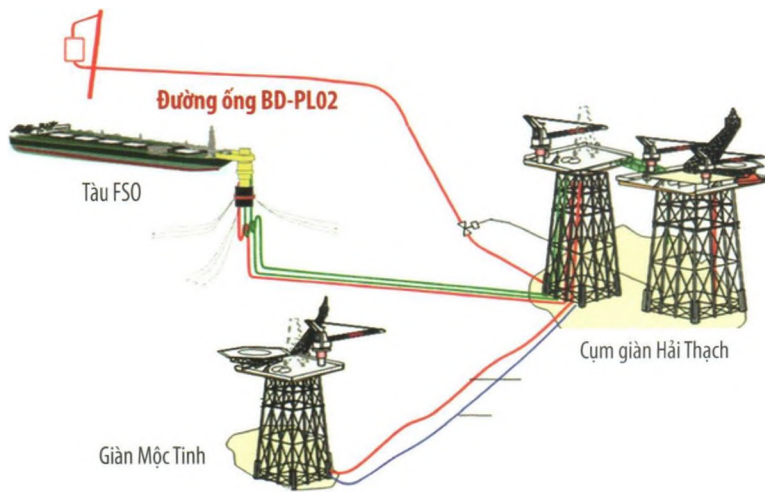
Để đánh giá rủi ro về ăn mòn trong trường hợp xấu nhất, dựa trên giả định tồn tại một lượng nước còn sót lại trong đường ống, được hấp thụ trong MEG sau quá trình chạy thử, các nghiên cứu về phân bố MEG, nước trong đường ống kết hợp với các đánh giá ăn mòn đã được thực hiện. Trên cơ sở các thông số thực tế của đường ống trước và trong quá trình vận hành, phần mềm OLGA cho phép mô phỏng sự phân bố của lượng lỏng và thành phần nước lỏng trong đường ống tại các thời điểm khác nhau.

4.1.2. Thực nghiệm tốc độ ăn mòn

Trên cơ sở kết quả tính toán phân bố lượng lỏng, các nghiên cứu thực nghiệm trong phòng thí nghiệm sử dụng



Hình 4. Đường ống BD-PL02 trong hệ thống đường ống Nam Côn Sơn.



Hình 5. Đường ống BD-PL02 trong cụm mỏ Hải Thạch - Mộc Tinh.



Hình 6. Triển khai áp dụng PDT tại BIENDONG POC.

điện cực đĩa quay (RCE) trên hệ thiết bị điện hóa Parstat 2273 và thử nghiệm ăn mòn trong thiết bị nhiệt cao, áp 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. Kết hợp các kết quả thử nghiệm ăn mòn và phân bố MEG/nước dọc theo đường ống bằng phần mềm OLGA cho phép dự đoán mô phỏng sự suy giảm bề dày thành ống do ăn mòn dọc theo tuyến ống. Kết quả cho thấy khu vực có khả năng bị ăn mòn cao nhất nằm ở phía gần giàn xử lý trung tâm Hải Thạch.

4.1.3. Đánh giá kiểm định trên cơ sở rủi ro (RBI)

Kết quả mô phỏng và đánh giá ăn mòn như trên đã được sử dụng cùng với các dữ liệu khác để xác định xác suất hư hỏng của các đoạn ống trong đánh giá RBI. 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 500 m ống gần giàn.

Sau khi hoàn thành đánh giá RBI, chương trình kiểm tra được khuyến nghị bao gồm:

- Kiểm tra bên ngoài và chụp NDT cho ống đứng trên mặt nước;
- Kiểm tra bên ngoài bằng ROV cho toàn tuyến ống;
- Kiểm tra NDT nâng cao cho đoạn ống đứng và 500 m gần giàn.

Thách thức lớn nhất nằm ở bước kiểm tra NDT nâng cao cho phần ống đứng và 500 m gần giàn. Để thực hiện công việc này, nhóm nghiên cứu của BIENDONG POC đã tìm hiểu các công nghệ như tethered pig, crawler pig, aqua magnetic tomography, LRUT, acoustic emission nhưng đều không thể áp dụng cho trường hợp của đường ống này hoặc chưa được Cục Đăng kiểm Việt Nam chấp thuận. Chỉ có phương pháp Bidi-MFL là có thể áp dụng nhưng rủi ro kẹt thoi rất lớn và nếu xảy ra thì rất khó thu hồi thoi; ngoài ra phương pháp này có nguy cơ ảnh hưởng đến hoạt động của cả hệ thống đường ống Nam Côn Sơn vốn rất quan trọng đối với hệ thống năng lượng của đất nước.

Sau thời gian tìm hiểu, nhóm nghiên cứu nhận thấy phương pháp PDT với các ưu nhược điểm như trên là có thể đáp ứng các yêu cầu mà không gây ảnh hưởng đến sản xuất.

4.2. Áp dụng PDT

Sau khi có đánh giá của Bureau Veritas và được Cục Đăng kiểm Việt Nam thông qua, công việc kiểm tra PDT đã được thực hiện tại giàn xử lý trung tâm Hải Thạch vào tháng 10/2019. Các đầu dò PDT được gắn trên riser đoạn gần xuống mặt biển đã cho phép kiểm tra tình trạng bên trong của riser và 500 m ống gần giàn. Kết quả cho thấy đường ống ở tình trạng tốt và báo cáo kiểm tra đã được Chi cục Đăng kiểm 9 phê duyệt để tiếp tục vận hành đường ống.

5. Kết luận

Việc áp dụng chuỗi giải pháp gồm các nghiên cứu mô phỏng và thực nghiệm, đánh giá RBI và công nghệ kiểm tra bằng phonon đã thay thế công việc phóng thoi thông minh, giúp BIENDONG POC tiết kiệm chi phí trên 32 triệu USD và tránh được tình trạng dừng sản xuất đến 17 ngày, giúp duy trì ổn định liên tục nguồn cung khí cho hệ thống đường ống Nam Côn Sơn, góp phần đảm bảo ổn định hệ thống điện lưới quốc gia. Các giải pháp này cũng được khuyến nghị nhân rộng để áp dụng cho các đường ống gặp vấn đề tương tự như không thể phóng thoi hoặc khó phóng thoi tại Việt Nam.

Tài liệu tham khảo

[1] Jai Prakash Sah and Mohammad Tanweer Akhter, "Integrity assessment of non-piggable pipeline through direct assessment", *ASME 2013 India Oil and Gas Pipeline Conference, Jaipur, India, 1 - 2 February 2013*. DOI: 10.1115/IOGPC2013-9835.

[2] Gennady Korobkov, "Applying of phonon diagnostics technique on main pipelines", *Neftegaz.Ru Magazine*, Vol. 4, No. 88, pp. 30 - 31, 2019.

[3] Murielle Bouchadry, Mohammed Benaceur, and Mai Hoang Khanh, "Assessment of PDT for application in RBI framework", 2018.

[4] Paramasivam K, Andrey Koronev, Aleksey Zarutskiy, Valerii Chenernok, and Mikhail Mironov, "Final report on witness of the technical demonstration of phonon diagnostic technique (PDT) of pressure vessel", 2018.

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

Tran Cong Nhat, Ly Van Dao, Nguyen Trong Nghiem, Dang Anh Tuan, Ngo Huu Hai

BIENDONG POC

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, risk-based inspection (RBI) studies and advanced non-destructive testing (NDT) by phonon diagnostic technique (PDT). These solutions substitutes the intelligent pigging activity and helps BIENDONG POC save over USD 32 million worth of cost and avoid a long production shutdown.

Key words: Subsea pipeline, pigging, advanced NDT, risk-based inspection, phonon diagnostic technique, BD-PL02 pipeline.