



DOI:10.22144/ctu.jvn.2023.127

XÂY DỰNG CHIẾN LƯỢC BẢO TRÌ GÓP PHẦN NÂNG CAO HIỆU QUẢ QUẢN LÝ ĐỘNG CƠ TẠI CÔNG TY KHÍ CÀ MAU

Tô Hải Đăng, Hồ Trọng Nhân, Trần Quốc Hùng, Phùng Minh Triết và Đỗ Nguyễn Duy Phương*

Khoa Kỹ thuật điện, Trường Bách khoa, Đại học Cần Thơ

*Người chịu trách nhiệm về bài viết: Đỗ Nguyễn Duy Phương (email: dndphuong@ctu.edu.vn)

Thông tin chung:

Ngày nhận bài: 07/12/2022

Ngày nhận bài sửa: 20/01/2023

Ngày duyệt đăng: 22/02/2023

Title:

Building a maintenance plan contributing to increasing the efficiency of engine management in the factory

Từ khóa:

Bảo trì có điều kiện, chất lượng điện năng, động cơ

Keywords:

Condition-based maintenance, motor, power analysis

ABSTRACT

This paper presents a method of planning conditional maintenance that improves the ability of motor management at Ca Mau Gas Company. The motor's status data will be collected periodically through online and offline tests. Then, the maintenance manager will suggest a reasonable maintenance plan for each motor based on the optimal spending of time and cost. The motor maintained by the conditional maintenance method will have higher working efficiency than traditional ones. This method will help to reduce motor damage's severity through proactive maintenance according to the proposed schedule.

TÓM TẮT

Bài báo trình bày phương pháp xây dựng kế hoạch bảo trì có điều kiện góp phần nâng cao hiệu quả quản lý động cơ trong Công ty Khí Cà Mau. Những dữ liệu về tình trạng của động cơ sẽ được kiểm tra định kỳ từ phương pháp kiểm tra online và offline. Từ đó, người quản lý bảo trì sẽ đưa ra kế hoạch bảo trì hợp lý cho từng động cơ dựa trên tiêu chí tối ưu về thời gian và chi phí. Bảo trì có điều kiện sẽ nâng cao hiệu suất làm việc của động cơ so với những phương pháp bảo trì truyền thống. Phương pháp này giúp giảm thiểu được tình trạng động cơ hư hỏng ở mức độ nghiêm trọng nhờ sự chủ động trong công tác bảo trì và sửa chữa theo lịch đã đề xuất từ trước.

1. GIỚI THIỆU

Theo định nghĩa của Dimitri Kececioglu (Mỹ) bảo trì là bất kỳ hành động nào nhằm duy trì các thiết bị không bị hư hỏng ở một tình trạng đạt yêu cầu về mặt độ tin cậy, an toàn và nếu chúng bị hư hỏng thì phục hồi về tình trạng này (Quang, 2012). Hiện nay, các chương trình bảo trì thường được áp dụng trên thế giới bao gồm bảo trì có điều kiện (Condition Based Maintenance- CBM), bảo trì theo thời gian (Time Based Maintenance- TBM) và bảo trì sau sự cố (Run To Failure- RTF).

Bảo trì có điều kiện (CBM) là một phương pháp phổ biến và hiện đại cho phép tạo lịch bảo trì phòng ngừa cho các động cơ dựa trên dữ liệu hoạt động

theo thời gian thực, tối ưu hóa năng suất và giảm thiểu thời gian ngừng hoạt động (Leo, 2020). CBM sử dụng dữ liệu thời gian thực về hoạt động của động cơ để giúp xác định bất kỳ vấn đề tiềm ẩn nào có thể ảnh hưởng đến hiệu suất, bao gồm nhiệm vụ, tốc độ, gia tốc và mài mòn hộp số. Các biến này được so sánh với các động cơ khác trong cơ sở dữ liệu động cơ trên toàn thế giới để tính toán khả năng và khung thời gian xảy ra lỗi hoặc hỏng hóc tiềm ẩn.

Các nước tiên tiến trên thế giới hiện nay thúc đẩy việc sử dụng cảm biến kết nối thiết bị trong nhà máy công nghiệp qua mạng lưới internet thông qua các chiến dịch như “Factory 2050” ở Anh, “Smart Industry” ở Thụy Điển, “Horizon 2020” ở Châu Âu,

“Revitalize Manufacturing Plan” ở Mỹ, và “4th Science and Technology Plan” ở Nhật. Máy móc, hệ thống và các bộ phận sản xuất khác sẽ được liên kết chặt chẽ với nhau tạo thành một hệ thống mạng vật lý (CPS). Do đó, vai trò của bảo trì dựa trên điều kiện (CBM) và giám sát tình trạng như một phần của khuôn khổ CPS ngày càng quan trọng (Rastegari, 2017).

Một số phương pháp bảo dưỡng thông thường được áp dụng ở một số nước tiên tiến như “Sửa chữa và cải tạo khi máy móc hỏng (Breakdown maintenance)”, “Bảo trì định kỳ (Periodic shutdown maintenance)”, “Bảo trì theo điều kiện máy (Condition based maintenance)” (Bengtsson, 2004).

Ở Nhật Bản, người ta đã ứng dụng CBM vào việc bảo trì đường ray xe lửa tại tuyến Yamanote (Tokyo). Họ thu thập dữ liệu hàng ngày khi tàu đang chạy bằng các cảm biến gắn vào toa tàu, sau đó phân tích dữ liệu trạng thái của tàu và đường ray từ đó đưa ra một kế hoạch bảo dưỡng hiệu quả và hợp lý giúp tiết kiệm hàng triệu yên mỗi năm.

Ở Hàn quốc người ta đã nghiên cứu việc sử dụng CBM cho máy nén trên tàu chứa khí thiên nhiên hoá lỏng và dầu nổi (LNG FPSO) (Hwang et al., 2018). Các cảm biến sẽ thu thập dữ liệu về độ rung động trực và ổ đỡ trực để theo dõi tình trạng của máy nén. Từ đó có thể dự đoán được xu hướng hư hỏng của máy nén bằng cách theo dõi các lỗi của nó.

Theo tiêu chí bảo dưỡng công nghiệp gồm năm cấp bậc phổ biến trên thế giới, thì Việt Nam đang chấp chứng ở bậc thứ hai và trình độ bảo dưỡng công nghiệp Việt Nam tụt hậu 40 đến 50 năm so với thế giới. Thạc sĩ Nguyễn Hồng Long, chuyên gia trong lĩnh vực bảo dưỡng công nghiệp thuộc Trung tâm Sản xuất Sạch Việt Nam (VNCPC) trong một cuộc phỏng vấn cho biết: “Nếu như những năm 60, các nước châu Âu đã vượt qua bảo dưỡng định kỳ và tiến đến bảo dưỡng dựa trên tình trạng của thiết bị thì hiện nay, Việt Nam chỉ đang dừng ở việc bảo dưỡng khi máy hỏng và bảo dưỡng theo định kỳ” (Quang, 2012, tr. 11).

Tập đoàn Điện lực Việt Nam đã và đang ứng dụng phương pháp CBM vào công tác bảo trì ở các trạm biến áp nhằm nâng cao độ tin cậy và an toàn cho toàn bộ hệ thống truyền tải (Lai, 2020). Ngoài ra, trong các nhà máy sản xuất dầu khí, công tác bảo trì liên tục được cải tiến để tăng thu nhập trên tài sản thông qua mức độ tin cậy cao hơn, tăng năng suất thiết bị và giảm chi phí. Từ những lợi ích mà phương pháp CBM mang lại, bài báo sẽ trình bày phương pháp bảo trì có điều kiện của các động cơ quan trọng bằng cách tích hợp các thông tin, dữ liệu thứ cấp về

thông số thiết bị, thông số máy, kế hoạch vận hành và sản xuất của nhà máy để đề xuất kế hoạch bảo trì sao cho tối thiểu ảnh hưởng đến quá trình sản xuất trong công ty Khí Cà Mau- Tập đoàn dầu khí Việt Nam.

2. KẾ HOẠCH BẢO TRÌ CÓ ĐIỀU KIỆN Ở CÔNG TY KHÍ CÀ MAU

2.1. Kiểm tra Offline

Motor Circuit Evaluation- MCE: Công nghệ MCE (Kiểm tra Offline cho động cơ) (Công ty Khí Cà Mau [PVGas], 2020) được thiết kế để kiểm tra và cung cấp dữ liệu nhằm sử dụng trong việc đánh giá các lỗi của động cơ như Mạch Công Suất, Cách Điện, Rotor, Stator và Air-Gap (khe hở từ giữa stator và rotor). Công nghệ này được gọi là kiểm tra offline bởi vì các dữ liệu được đo tại một thời điểm nhất định và sẽ so sánh chúng với kiểm tra tiêu chuẩn (AC Standard Test), chỉ số phân cực (Polarization Index-PI), chỉ số hấp thụ (Dielectric Absorption-DA), kiểm tra bằng điện áp bước (Step Voltage Test).

2.1.1. Kiểm tra theo tiêu chuẩn

Resistance-to-Ground (RTG) (PVGas, 2020): giá trị điện trở cách điện sau khi đo sẽ được hiệu chuẩn về 40°C theo tiêu chuẩn IEEE 43 để so sánh với tiêu chuẩn này.

Capacitance-to-Ground (CTG) (PVGas, 2020): điện dung cách điện, đặc trưng cho độ sạch của hệ thống cách điện. Theo dõi điện dung cách điện qua nhiều lần đo có thể phát hiện được những dấu hiệu của bụi bẩn bên trong hệ thống cách điện của stator và rotor lồng sóc.

Phase-to-Phase Resistance (%Res. Imbalance) (PVGas, 2020): điện trở cuộn dây, mất cân bằng điện trở pha-pha. Đánh giá hư hỏng về kết nối bên trong động cơ và mạch động lực. Điện trở nội pha-pha được thu thập với độ phân giải tối đa là 10 $\mu\Omega$.

Phase-to-Phase Inductance (%Ind. Imbalance) (PVGas, 2020): điện cảm cuộn dây, mất cân bằng điện cảm pha-pha. Hỗ trợ đánh giá các vấn đề về ngắn mạch cuộn dây, hư hỏng rotor lồng sóc, lệch tâm rotor và stator.

2.1.2. Chỉ số phân cực/chỉ số hấp thụ (PI, DA)

Chỉ số phân cực (PI) và chỉ số hấp thụ (DA) được thu thập và đánh giá theo tiêu chuẩn IEEE 43.

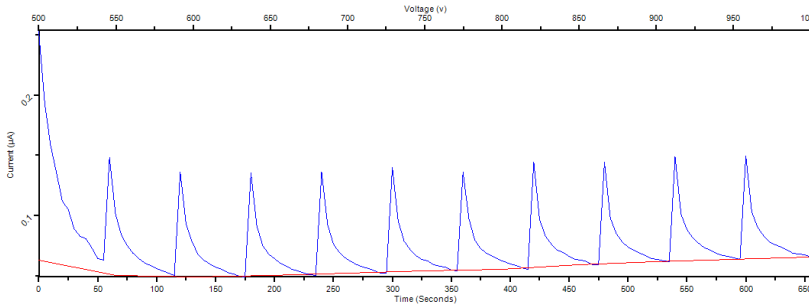
Tuy nhiên, trong một số trường hợp khi cách điện bị nhiễm bẩn, ẩm nhưng chỉ số PI và DA không đánh giá được tình trạng cách điện. Lúc này, chỉ có

giản đồ phân cực của cách điện mới thực sự hiệu quả trong việc đánh giá tình trạng cách điện của động cơ.

2.1.3. Điện áp bước (Step Voltage)

Phương pháp kiểm tra này cung cấp cho người dùng một cách tốt nhất về sự cách điện của động cơ. Điện áp kiểm tra được tăng theo bước, mỗi bước 1 phút, dòng điện rò được đo và giản đồ được vẽ theo thời gian. Người dùng có thể đánh giá tình trạng sức khoẻ của cách điện stator và rotor dây quấn bằng

việc phân tích đồ thị dòng điện rò. Dựa vào Hình 1, đường màu xanh thể hiện cường độ của dòng hấp thụ thay đổi theo thời gian. Đường màu đỏ thể hiện cho cường độ của dòng rò thay đổi theo thời gian và từng cấp độ điện áp. Ta thấy, đường biểu diễn dòng rò trùng với điểm đáy và có giá trị thấp hơn dòng hấp thụ. Điều này chứng tỏ lớp cách điện khô, không lẫn tạp chất và kết quả sau khi kiểm tra là đạt yêu cầu (PVGas, 2020).



Hình 1. Biểu đồ điện áp bước của động cơ

2.2. Kiểm tra Online

Công nghệ Motor Current Signature Analysis - Phân tích tín hiệu dòng (MCSA) (PVGas, 2020) được thiết kế để kiểm tra và thu thập dữ liệu trong khoảng thời gian dài có thể 1 hoặc 2 tuần bởi những thiết bị hiện đại, người thu thập dữ liệu cần được huấn luyện và bằng cấp chuyên môn. Công nghệ này nhằm sử dụng trong việc phân tích, đánh giá các lỗi của động cơ liên quan tới các vấn đề như chất lượng điện năng, stator, rotor, air-gap và mạch công suất của động cơ.

2.2.1. Phân tích tín hiệu dòng (Current Analysis)

Dòng điện hoạt động của động cơ được thu thập và phân tích FFT theo miền tần số để đánh giá các vấn đề liên quan đến rotor, air-gap, ảnh hưởng từ và rung động cơ khí.

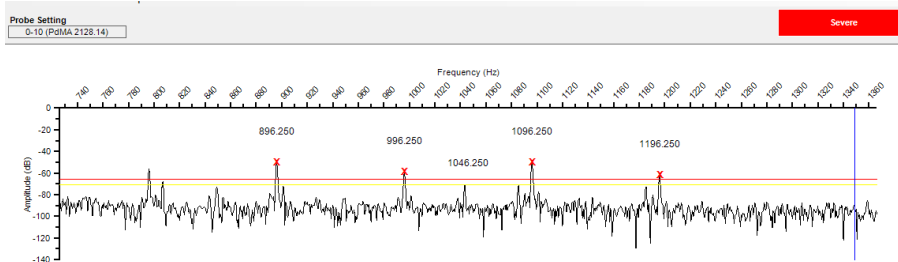
2.2.2. Sự tách sóng (Demodulation)

Mục đích của phương pháp tách sóng dùng để

đánh giá sơ bộ các thành phần cơ khí của động cơ và phân tải. Thành phần dòng điện chính ở tần số 50 Hz được lọc và tách ra, để lại trên giản đồ FFT (Fast Fourier transform) chỉ là các tần số điện ảnh hưởng từ các thành phần rung động cơ khí.

2.2.3. Phân tích độ lệch tâm (Eccentricity Spectrum)

Phân tích độ lệch tâm của rotor và stator để đánh giá được tình trạng lệch tâm tĩnh hoặc lệch tâm động của rotor và stator. Bằng cách so sánh biên độ các đỉnh tần số sóng hài bậc cao liên quan đến air-gap trong giản đồ FFT của dòng điện với tiêu chuẩn, tình trạng lệch tâm của rotor và stator sẽ được đánh giá một cách chính xác nhất. Biểu đồ phân tích tình trạng air-gap được thể hiện ở Hình 2. Đường màu vàng đánh giá độ nhiễu trung bình của sóng hài nằm ở mức cảnh báo. Đường màu đỏ đánh giá độ nhiễu trung bình của sóng hài nằm ở mức báo động. Hình 2 có 4 điểm biên độ sóng hài nằm trên mức độ báo động nên kết quả phân tích tình trạng air-gap của động cơ là không đạt (PVGas, 2020).



Hình 2. Biểu đồ phân tích tình trạng air gap

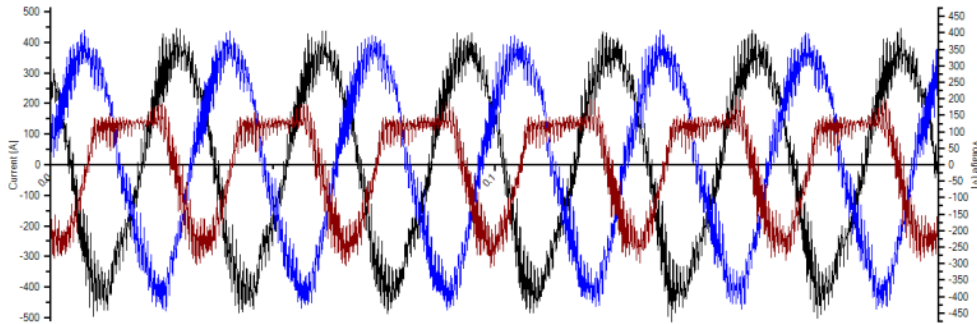
2.2.4. Phân tích chất lượng điện năng (Power Analysis)

Phân tích các vấn đề chất lượng điện năng cung cấp cho động cơ theo tiêu chuẩn IEEE 519, Nema MG01, EASA... Các vấn đề cần quan tâm trong công tác phân tích chất lượng điện năng như sau:

- Sóng hài dòng điện và điện áp (THD, IHD từ bậc 1 đến bậc 50)
- Chỉ số đỉnh (crest factor)

- Độ lệch điện áp và dòng điện
- Tổng trở mạch công suất và mạch điện động cơ, độ lệch tổng trở.
- Hệ số công suất từng pha của động cơ.

Hiệu suất làm việc của động cơ. Biểu đồ dạng sóng hình sin của dòng điện bị cắt ở 1 pha do hư hỏng biến tần được thể hiện ở Hình 3 (PVGas, 2020).



Hình 3. Biểu đồ dòng điện bị cắt do hư hỏng biến tần

2.3. Phân tích rung động

Những nguyên nhân chính và những yếu tố bên ngoài gây nên rung động được phân tích đánh giá:

Mất cân bằng trọng tâm quay.

Mất cân chỉnh khớp nối (khớp nối không đồng trục).

Rung động vỏ máy, chân đế bị lỏng.

Rung động do cánh quạt, bơm, HGT,

Rung động của bạc đạn...

2.4. Quy trình quản lý và phân tích cơ sở dữ liệu

Việc quản lý cơ sở dữ liệu và tình trạng sức khỏe của các động cơ trong nhà máy là một công tác rất quan trọng cho việc xây dựng chương trình CBM (PVGas, 2020). Những số liệu đạt được từ phương pháp kiểm tra online & offline về các vùng hư hỏng của tất cả các động cơ điện trong nhà máy được quản lý trên cùng một phần mềm. Phần mềm quản lý cơ sở dữ liệu theo một chuỗi quy trình thống nhất. Thống kê số lượng động cơ của nhà máy đang gặp vấn đề hư hỏng. Các mức độ hư hỏng sẽ được biểu diễn qua từng cấp độ màu sắc lần lượt là đỏ, vàng và xanh dương. Bên cạnh đó, các thông số như ngày bảo trì gần nhất, chu kỳ bảo trì và khoảng thời gian bảo trì sẽ được thể hiện trong từng danh mục của phần mềm. Cơ sở dữ liệu cho tất cả động cơ sẽ được

ghi lại, từ đó người quản lý có thể theo dõi xu hướng tiến triển và lên lịch cảnh báo khi có bất thường.

Các bước xử lý và phân tích thông tin sau khi đã đạt được ở Công ty Khí Cà Mau được thể hiện như sau:

- Bước 1: Thu lập số liệu đo được từ phương pháp kiểm tra offline và online.
- Bước 2: Từ những số liệu thu thập trên, quy trình lên kế hoạch bảo trì động cơ sẽ theo hai mức độ ưu tiên. Thứ nhất, kế hoạch bảo trì sẽ được ưu tiên theo tình trạng vận hành hiện tại của động cơ. Tiếp theo, trong trường hợp các động cơ có tình trạng vận hành giống nhau thì động cơ nào có thời gian bảo trì, sửa chữa ngắn hơn thì sẽ được ưu tiên.
- Bước 3: Lập bảng tổng hợp tất cả động cơ cần sửa chữa theo từng mã lỗi. Bảng tổng hợp bao gồm những thông tin sau: Tên động cơ, mã lỗi và ngày sửa chữa.

Từ các dữ liệu về tình trạng động cơ sau khi thu thập được từ phương pháp kiểm tra online và offline, người quản lý sẽ lập được danh sách về những thông tin của động cơ như: tên động cơ, mã lỗi, hình thức kiểm tra, kết quả đánh giá, chu kỳ bảo dưỡng, lần bảo dưỡng gần nhất là ngày mấy và đơn vị nào thực hiện công việc bảo trì trước đó. Các dữ liệu đầu vào được sắp xếp lại theo một chuỗi thứ tự ưu tiên. Thứ tự ưu tiên thứ nhất là mức độ tình trạng của động cơ sau khi kiểm tra, thứ tự ưu tiên thứ hai là khoảng

thời gian sửa chữa. Hai mức độ ưu tiên này có ý nghĩa quan trọng trong việc lên kế hoạch bảo trì cho từng động cơ. Ở những động cơ nào có mức độ ưu tiên cao hơn thì cần thực hiện công tác bảo dưỡng sửa chữa sớm hơn để tránh việc tiếp tục hoạt động trong thời gian dài dẫn đến việc hư hỏng động cơ trở nên nặng hơn. Sau những quá trình kiểm tra và phân tích từng lỗi và tình trạng làm việc của động cơ, người quản lý sẽ lập được một trang tổng hợp về kế hoạch bảo trì động cơ của nhà máy. Bảng tổng hợp này sẽ đáp ứng các điều kiện tối ưu về chi phí và cả thời gian thực hiện bảo trì. Từ những thông tin về

tên và mã lỗi của từng động cơ, bảo trì viên sẽ truy xuất được thời gian bảo trì theo kế hoạch là khi nào và đơn vị nào là người thực hiện công việc trên. Quy trình thực hiện kế hoạch ở từng bước và điều kiện tối ưu chi phí trong kế hoạch bảo trì được nêu cụ thể như sau:

2.4.1. Quy trình đánh giá tình trạng của động cơ

Mỗi động cơ sau khi được đo đạt sẽ chia ra thành 7 vùng lỗi với 13 mã lỗi được thể hiện cho 13 lỗi có thể xảy ra ở mỗi động cơ (Bảng 1).

Bảng 1. Những sự cố có thể xảy ra ở từng động cơ

STT	Mã lỗi	Vùng lỗi	Loại sự cố
1	RGC01_CMMS_01	Chất lượng điện năng	Độ lệch sóng hài áp
2	RGC01_CMMS_02		Mất cân bằng điện áp
3	RGC01_CMMS_03		Chỉ số hình sin
4	RGC01_CMMS_04		Điện trở cách điện
5	RGC01_CMMS_05	Cách điện Stator	Chỉ số phân cực
6	RGC01_CMMS_06		Điện dung
7	RGC01_CMMS_07		Mất cân bằng điện trở
8	RGC01_CMMS_08	Stator	Mất cân bằng điện cảm
9	RGC01_CMMS_09		Phân tích phổ dòng điện
10	RGC01_CMMS_10		Hiệu ứng sóng hài bậc 5
11	RGC01_CMMS_11	Mạch công suất	Mất cân bằng dòng điện
12	RGC01_CMMS_12		Độ lệch tâm
13	RGC01_CMMS_13	Phân tích rung	Phân tích phổ FFT

Các lỗi này sẽ được đánh giá theo 3 cấp độ:

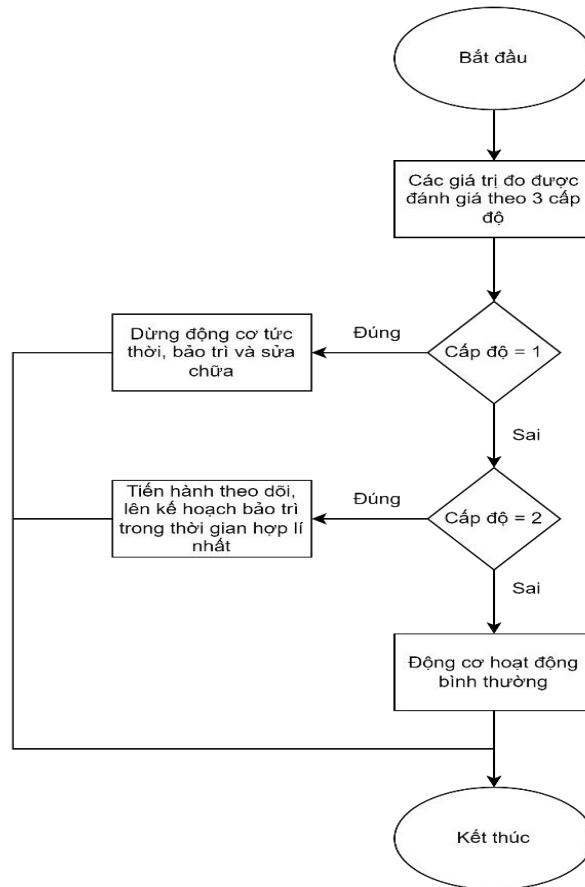
Cấp độ 1 (Màu đỏ): Bảo động-Động cơ ở mức độ này hoạt động bất bình thường một cách nghiêm trọng. Rotor hoặc Stator có những vấn đề khẩn cấp. Việc khắc phục phải tiến hành ngay lập tức. Việc tiếp tục vận hành thiết bị trong tình trạng này sẽ là nguyên nhân dẫn đến sự hư hại nghiêm trọng và có thể phá hủy những thành phần quan trọng của động cơ.

Cấp độ 2 (Màu vàng): Cảnh báo và theo dõi- Ở mức độ này tình trạng của động cơ đã vượt qua khỏi mức độ an toàn cho phép. Những vấn đề bất thường về điện áp/dòng điện hoặc stator/rotor cần được

giám sát/ theo dõi để đưa ra kế hoạch bảo trì phù hợp nhất về thời gian và cả chi phí.

Cấp độ 3 (Màu xanh dương): Tốt-Bình thường cho tất cả thông số kiểm tra nhưng vẫn cần được theo dõi thường xuyên để phát hiện những vấn đề mới, cái mà có thể đang và sẽ hình thành phát triển. Theo dõi sự thay đổi tình trạng động cơ ít nhất 1 năm sau đó.

Quy trình được đề xuất để thực hiện công việc bảo trì theo mức độ đánh giá của động cơ được thể hiện ở Hình 4 như sau:

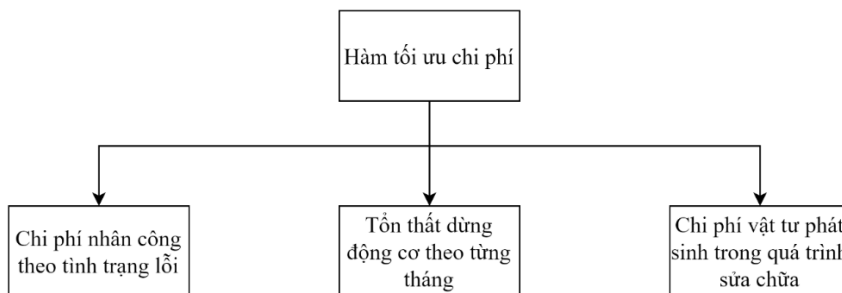


Hình 4. Quy trình thực hiện công việc bảo trì theo mức độ ưu tiên

2.4.2. Hàm tối ưu chi phí

Trong một kế hoạch bảo trì, tối ưu về chi phí là một trong những điều kiện tiên quyết hàng đầu trong công tác lên kế hoạch. Ở phương pháp này, tối ưu

chi phí về nhân công thực hiện công việc và chi phí tổn thất của Công ty do dừng máy bảo trì là hai vấn đề chính được quan tâm (Hình 5). Hàm tối ưu chi phí được tạo ra từ 3 giai đoạn sau:



Hình 5. Các yếu tố trong hàm tối ưu chi phí

Giai đoạn 1: Thông qua các dữ liệu cơ sở đầu vào sau quá trình đo đạt như mã lỗi, mức độ lỗi của động cơ, ước tính số ngày sửa chữa; từ đó người quản lý có thể ước tính được số công nhân và kỹ sư cần để thực hiện công việc sửa chữa sao cho tối ưu

nhất về chi phí nhân công. Hàm tối ưu chi phí nhân công trong việc sửa chữa, bảo trì động cơ được thể hiện như sau:

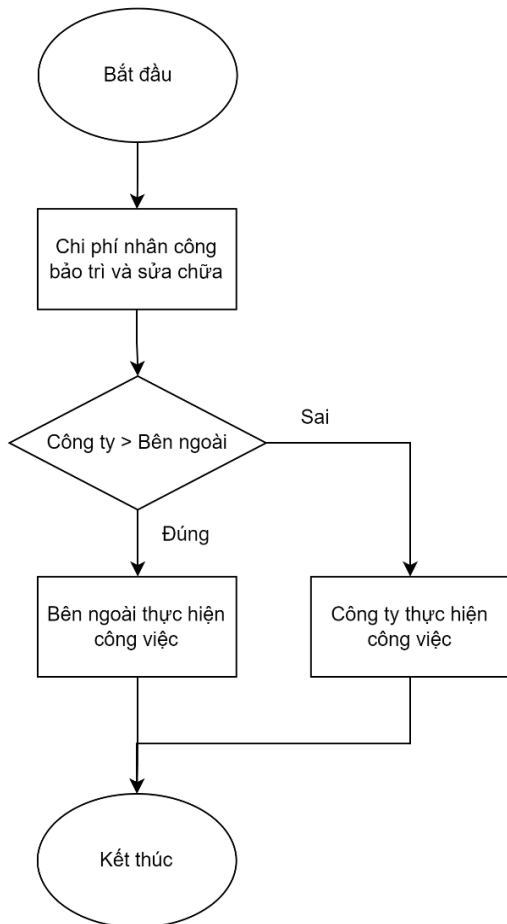
$$\Sigma_1 = (a + b) * \text{Số ngày} \tag{2.1}$$

Với

a: là chi phí để thuê Kỹ sư thực hiện công việc

b: là chi phí để thuê Công nhân thực hiện công việc

Từ tổng chi phí tính toán được ở trên (Hình 6) sẽ được so sánh với chi phí nhân công thuê bên ngoài để sửa chữa cùng lỗi ấy. Nếu chi phí nhân công thuê bên ngoài thấp hơn chi phí nhân công của công ty thì công việc sẽ được đơn vị bên ngoài thực hiện và ngược lại. Phương pháp tối ưu chi phí nhân công được đề xuất như Hình 6.



Hình 6. Lưu đồ tối ưu chi phí nhân công

Giai đoạn 2: Việc tổn thất chi phí khi dừng động cơ để sửa chữa cũng là một vấn đề quan trọng cần quan tâm trong công tác lên kế hoạch bảo trì. Ở từng thời điểm trong năm, nhu cầu tiêu thụ khí của nhà máy Điện và nhà máy Đạm sẽ khác nhau. Đây là lý do tạo nên sự chênh lệch chi phí tổn thất dừng động cơ để sửa chữa ở từng tháng. Do đó, Công việc của

người lên kế hoạch là chọn ra tháng có chi phí tổn thất dừng động cơ là nhỏ nhất.

$$\Sigma_2 = \min(n_1, n_2, \dots, n_{12}) \tag{2.2}$$

Với

n: là chi phí tổn thất dừng động cơ theo từng tháng

Giai đoạn 3: Bên cạnh việc tối ưu chi phí về nhân công và thời gian dừng máy, chi phí về thiết bị vật tư phát sinh trong quá trình (công thức 2.3) cũng cần được quan tâm đến trong công tác lên kế hoạch bảo trì.

$$\Sigma_3 = \text{Chi phí vật tư phát sinh (nếu có)} \tag{2.3}$$

Từ 3 giai đoạn phân tích ở trên, hàm tối ưu chi phí được đề xuất bởi công thức như sau:

$$\Sigma = \Sigma_1 + \Sigma_2 + \Sigma_3 \tag{2.4}$$

Trong đó:

Σ_1 : Chi phí nhân công tối thiểu thực hiện bảo trì một lỗi của động cơ.

Σ_2 : Chi phí tổn thất nhỏ nhất khi dừng động cơ để sửa lỗi

Σ_3 : Chi phí phát sinh trong quá trình sửa chữa.

3. ÁP DỤNG KẾ HOẠCH BẢO TRÌ ĐỘNG CƠ CHÍNH Ở CÔNG TY KHÍ CÀ MAU

Ở Công ty Khí Cà Mau có rất nhiều động cơ điện được bảo trì theo những hình thức khác nhau. Nhưng trong bài báo này chỉ tập trung vào 5 động cơ quan trọng trong quá trình vận hành của nhà máy, mỗi động cơ này sẽ có nhiệm vụ và sự ảnh hưởng khác nhau đến quá trình sản xuất. Dưới đây (Hình 7) là tổng quan về dây chuyền công nghệ của Công ty Khí Cà Mau với ba khu vực chính là trạm tiếp bờ-LFS, nhà máy xử lý khí Cà Mau và Trung tâm Phân phối khí-GDC.

Động cơ 1: RESIDUE GAS COMPRESSOR 1 được đặt trước cụm tách CO₂ của nhà máy GPP có nhiệm vụ nâng áp suất Residue gas từ 31 bar lên 55 bar, đảm bảo áp suất cấp hoạt động cụm tách CO₂ và áp suất sales gas cấp trở lại GDC. Đây là cụm máy nén quan trọng của nhà máy, trong trường hợp cụm máy nén shutdown sẽ làm shutdown nhà máy GPP và gây rủi ro đến quá trình cấp khí cho nhà máy Điện I/II, Nhà máy Đạm. RESIDUE GAS COMPRESSOR 1 là loại máy nén ly tâm, có công suất 6.500 (kW), làm việc với vận tốc 1,490 (RPM). Sau khi đo đạc, ta có những dữ liệu về tình trạng động cơ như sau: Tất cả đại lượng về điện trở và điện dung của rotor và air-gap đều bình thường. Độ

lệch sóng hài áp, điện trở cách điện ở stator độ lệch tâm và độ rung của động cơ không đạt.

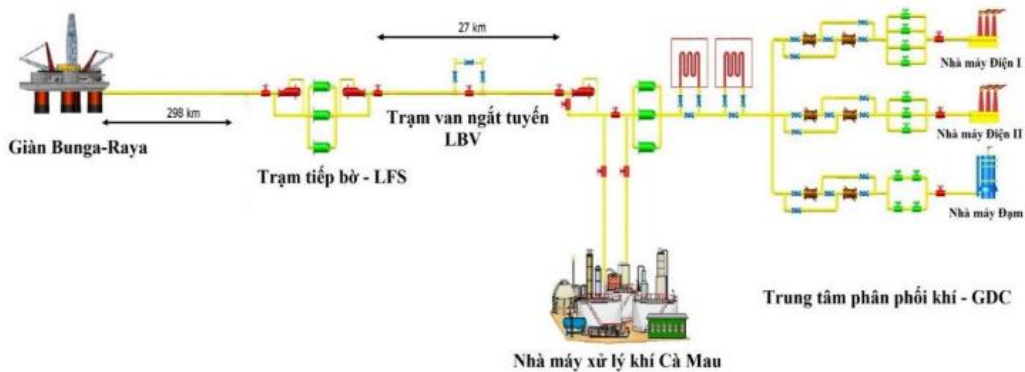
Động cơ 2: RESIDUE GAS COMPRESSOR 2 được đặt trước cụm tách CO₂ đầu ra nhà máy GPP có nhiệm vụ nâng áp suất Residue gas từ 31 bar lên 55 bar, đảm bảo áp suất cấp hoạt động cụm tách CO₂ và áp suất sales gas cấp trở lại GDC. Đây là cụm máy nén quan trọng của nhà máy, trong trường hợp cụm máy nén shutdown sẽ làm shutdown nhà máy GPP và gây rủi ro đến quá trình cấp khí cho nhà máy Điện I/II, nhà máy Đạm có công suất 6.500 (kW), làm việc với vận tốc 1.490 (RPM). Sau khi đo đạt, ta có những dữ liệu về tình trạng động cơ như sau: có các chỉ số về cân bằng điện trở, dòng điện và phổ phân tích FFT không đạt.

Động cơ 3: LPG SIDE DRAW PUMP 1 dùng để nén khí công nghệ lên đến 70 – 85 bar. Máy nén khí công nghệ LFS được lắp đặt tại LFS với mục đích tăng công suất đường ống PM3 Cà Mau lên 6,5 MMSCMD và đảm bảo áp suất khí cấp cho GPP ổn định khoảng 70 bar. LPG SIDE DRAW PUMP 1 có công suất 75 (kW), làm việc với vận tốc 2.980 (RPM). Sau khi đo đạt, ta có những dữ liệu về tình

trạng động cơ như sau: Các chỉ số đo đạt về cân bằng điện áp, chỉ số phân cực và phân tích rung không đạt. Các chỉ số còn lại đều bình thường.

Động cơ 4: LPG SIDE DRAW PUMP 2 dùng để nén khí công nghệ lên đến 70 – 85 bar. Máy nén khí công nghệ LFS được lắp đặt tại LFS với mục đích tăng công suất đường ống PM3 Cà Mau lên 6,5 MMSCMD và đảm bảo áp suất khí cấp cho GPP ổn định khoảng 70 bar, có công suất 75 (kW), làm việc với vận tốc 2.980 (RPM). Sau khi đo đạt, ta có những dữ liệu về tình trạng động cơ như sau: Các chỉ số đo đạt về cân bằng điện cảm và chỉ số phân cực (PI) và phân tích rung không đạt. Các chỉ số còn lại đều bình thường.

Động cơ 5: REGENERATION GAS COMPRESOR được đặt ở nhà máy xử lý khí Cà Mau- GGP có công suất 75 (kW), làm việc với vận tốc 2.980 (RPM). Sau khi đo đạt, ta có những dữ liệu về tình trạng động cơ như sau: Các chỉ số về điện trở cách điện, mất cân bằng điện cảm và phân tích rung không đạt. Các chỉ số còn lại đều bình thường.



Hình 7. Các quá trình trong dây chuyền công nghệ của Công ty Khí Cà Mau (PVGas, 2020)

Sử dụng phần mềm Excel để xây dựng kế hoạch bảo trì động cơ trong nhà máy. Kết quả thu thập dữ liệu về 5 động cơ sẽ được biểu thị qua 5 bảng tính trên Phần mềm Excel bao gồm các yếu tố chính như mã lỗi, vùng lỗi, loại sự cố, kết quả kiểm tra và lý do mắc lỗi.

Từ những dữ liệu đầu vào như trên, sau khi đã được xử lý thông qua phần mềm Excel ta có được 1 bảng tính biểu thị cho chi phí nhân công thực hiện công việc. Dựa vào công thức 2.1, chi phí nhân công thực hiện công việc bảo trì theo từng lỗi của động cơ 1 ở Tổng chi phí nhân công loại I (Kỹ sư), Tổng chi phí nhân công loại II (Công nhân) và Tổng chi phí nhân công trong công ty thực hiện sẽ được tính bởi hàm SUM.

$$SUM=(\text{Chi phí nhân công loại I}+\text{Chi phí nhân công loại II}) \quad (3.1)$$

Từ đó, ta so sánh với chi phí thuê bên ngoài. Nếu tổng chi lớn hơn 100.000.000 VND thì giao cho đơn vị bên ngoài thực hiện (Đơn vị bên ngoài có thể là nhà thầu hoặc Công ty Dịch vụ Khí Cà Mau). Chi phí tối ưu được viết lại bằng hàm IF và thể hiện giá trị ở cột Chi phí tối ưu.

$$IF=(\text{Chi phí bên ngoài} = 0, \text{Tổng chi phí}, (\text{MIN}(\text{Tổng chi phí}, \text{Chi phí bên ngoài}))) \quad (3.2)$$

Phương pháp này được đề xuất áp dụng cho cả 5 động cơ. Chi phí nhân công thực hiện công việc theo từng mã lỗi của động cơ 1 được thể hiện ở trang tính số 2 của file Excel (Hình 8). Kết quả tính toán chi

phí nhân công thực hiện bảo trì cho động cơ 1 như sau:

Chi phí nhân công loại I: 153.000.000 VND;

Chi phí nhân công loại II: 91.500.000 VND;

Tổng chi phí nhân công thực hiện sửa chữa, bảo trì: 244.500.000 VND;

Chi phí đơn vị ngoài thực hiện: 420.525.000 VND;

Chi phí nhân công tối ưu: 665.025.000 VND.

Table 2	Column1	Column2	Column3	Column4	Column5	Column6	Column7	Column8	Column9	Column10
Mã lỗi	Mức độ	Nhân công loại I (Kỹ sư)	Nhân công loại II (Công nhân)	Số ngày	Tổng chi phí nhân công theo loại I	Tổng chi phí nhân công theo loại II	Tổng chi phí	Chi phí bên ngoài	Chi phí tối ưu	
RGC01_CMMS_01	3	3	4	10	VND 45,000,000	VND 30,000,000	VND 75,000,000	VND 0	VND 75,000,000	
RGC01_CMMS_02	3	2	3	7	VND 21,000,000	VND 15,750,000	VND 36,750,000	VND 0	VND 36,750,000	
RGC01_CMMS_03	4				VND 0	VND 0	VND 0	VND 0	VND 0	
RGC01_CMMS_04	3	4	3	7	VND 42,000,000	VND 15,750,000	VND 57,750,000	VND 0	VND 57,750,000	
RGC01_CMMS_05	4				VND 0	VND 0	VND 0	VND 0	VND 0	
RGC01_CMMS_06	4				VND 0	VND 0	VND 0	VND 0	VND 0	
RGC01_CMMS_07	3	8		12	VND 144,000,000	VND 0	VND 144,000,000	VND 129,600,000	VND 129,600,000	
RGC01_CMMS_08	4				VND 0	VND 0	VND 0	VND 0	VND 0	
RGC01_CMMS_09	4				VND 0	VND 0	VND 0	VND 0	VND 0	
RGC01_CMMS_10	4				VND 0	VND 0	VND 0	VND 0	VND 0	
RGC01_CMMS_11	3	3	4	10	VND 45,000,000	VND 30,000,000	VND 75,000,000	VND 0	VND 75,000,000	
RGC01_CMMS_12	1	5	7	15	VND 112,500,000	VND 78,750,000	VND 191,250,000	VND 172,125,000	VND 172,125,000	
RGC01_CMMS_13	2	5	6	11	VND 82,500,000	VND 49,500,000	VND 132,000,000	VND 118,800,000	VND 118,800,000	

Hình 8. Trang tính thể hiện chi phí nhân công bảo trì cho động cơ 1

Để sửa chữa từng lỗi động cơ cần phải dừng động cơ, việc này ảnh hưởng đến dây chuyền hoạt động ở các khu vực trong Công ty khí Cà Mau. Do công suất hoạt động của mỗi động cơ theo từng tháng là khác nhau nên tổn thất dừng hoạt động của từng động cơ mỗi tháng cũng là không giống nhau. Từ các số liệu tổn thất theo từng tháng mà người quản lý bảo trì có thể tìm ra được tháng có tổn thất thấp nhất của Công ty Khí Cà Mau được thể hiện ở cột “Tháng mong muốn” thông qua hàm MIN.

$$\text{Min}(n_1, n_2, \dots, n_{12}) \quad (3.3)$$

Trang tính số 3 thể hiện chi phí tổn thất theo từng mã lỗi khi dừng động cơ 1 sửa chữa theo từng tháng. Kết quả tính toán chi phí nhân công thực hiện bảo trì cho động cơ 1 như sau:

Tháng 1: 2.052.000.000 VND;

Tháng 2: 1.368.000.000 VND;

Tháng 3: 1.140.000.000 VND;

Tháng 4: 1.801.200.000 VND;

Tháng 5: 889.200.000 VND;

Tháng 6: 478.800.000 VND;

Tháng 7: 912.000.000 VND;

Tháng 9: 2.052.000.000 VND;

Tháng 10: 2.166.000.000 VND;

Tháng 11: 2.280.000.000 VND;

Tháng 12: 2.052.000.000 VND.

Từ kết quả tính toán, tháng có tổn thất thấp nhất do dừng máy là tháng 6 với tổng chi phí là

478.800.000 VND. Phương pháp này cũng được đề xuất áp dụng với 4 động cơ còn lại. Nhưng thời gian bảo trì ở 4 động cơ còn lại sẽ khác nhau do mỗi động cơ có sự khác nhau về lỗi gặp phải và cấp độ ưu tiên sửa chữa theo từng mã lỗi.

Cùng bên cạnh tối ưu chi phí về nhân công và tổn thất do dừng máy, tổng chi phí trong việc bảo trì còn có chi phí phát sinh trong những trường hợp lỗi động cơ được đánh giá ở mức độ 1 cần phải mua thiết bị vật tư thay thế trang tính số 4. Chi phí vật tư thay thế (nếu có) sẽ thể hiện ở cột Chi phí Thiết bị vật tư. Cùng với đó là Chi phí nhân công thuê ngoài làm cơ sở dữ liệu trong việc so sánh lựa chọn đơn vị thực hiện công việc ở mục tối ưu chi phí nhân công thực hiện lỗi (được trình bày ở trang tính số 2).

Từ những bảng tổng hợp, người quản lý bảo trì có thể đưa ra được kế hoạch bảo trì động cơ theo từng mã lỗi của động cơ, bảo trì viên có thể truy xuất được công việc cần thực hiện bảo trì ở từng lỗi là gì, đơn vị nào sẽ thực hiện công việc, thời gian bảo trì là khi nào, ước tính thời gian thực hiện là bao lâu và tổng chi phí tính toán thực hiện công việc là bao nhiêu. Trang tính số 5 (Hình 9) sẽ thể hiện tất cả những yếu tố vừa nêu ở trên. Kế hoạch bảo trì cho động cơ 1 được đề xuất như sau:

Nhóm lỗi về chất lượng điện năng: có thời gian bảo trì vào tháng 6, đơn vị thực hiện là Công ty Khí Cà Mau với tổng chi phí là 218.850.000 VND.

Nhóm lỗi về cách điện Stator: có thời gian bảo trì vào tháng 6, đơn vị thực hiện là Công ty Khí Cà Mau và Công ty Dịch vụ Khí với tổng chi phí là 307.050.000 VND.

Nhóm lỗi về air-grap và phân tích rung có thời gian bảo trì vào tháng 6, đơn vị thực hiện là Công ty

Khí Cà Mau và Công ty Dịch vụ Khí với tổng chi phí là 617.925.000 VND.

Column7	Column1	Column2	Column3	Column4	Column5
Mã lỗi	Công việc thực hiện	Đơn vị thực hiện	Thời gian bảo trì	Chi phí tối ưu (VND/ngày)	Thời gian hoàn thành ước tính
RGC01_CMMS_01	Theo dõi kiểm tra hoạt động	Công ty Khí Cà Mau	Tháng 6	VND 138,000,000	9 ngày
RGC01_CMMS_02	Theo dõi kiểm tra hoạt động	Công ty Khí Cà Mau	Tháng 6	VND 80,850,000	7 ngày
RGC01_CMMS_03					
RGC01_CMMS_04	Vệ sinh bụi bản	Công ty Khí Cà Mau	Tháng 6	VND 101,850,000	7 ngày
RGC01_CMMS_05					
RGC01_CMMS_06					
RGC01_CMMS_07	Kiểm tra phân kết nối động cơ với mạch động lực	Công ty Dịch vụ khí	Tháng 6	VND 205,200,000	10 ngày
RGC01_CMMS_08					
RGC01_CMMS_09					
RGC01_CMMS_10					
RGC01_CMMS_11	Theo dõi kiểm tra hoạt động	Công ty Khí Cà Mau	Tháng 6	VND 138,000,000	10 ngày
RGC01_CMMS_12	Dừng vận hành và kiểm tra kết nối cơ khí	Công ty Dịch vụ khí	Tháng 6	VND 266,625,000	15 ngày
RGC01_CMMS_13	Thay bạc trực	Đơn vị ngoài	Tháng 6	VND 213,300,000	15 ngày

Hình 9. Lịch bảo trì cho động cơ 1

4. KẾT LUẬN

Bài báo đã phân tích và đề xuất phương hướng tối ưu chi phí trong việc lập kế hoạch bảo trì CBM các động cơ trong nhà máy góp phần nâng cao hiệu quả quản lý. Thông qua phương pháp bảo trì có điều kiện-CBM, động cơ được lên kế hoạch bảo trì vào những tháng có chi phí tổn thất thấp nhất. Điều này sẽ giúp Công ty có kế hoạch bảo trì rõ ràng và tối ưu được chi phí tổn thất trong công tác bảo trì động cơ. Nhìn chung từ phương pháp này, người quản lý chỉ cần biết mã lỗi của từng động cơ để truy xuất ra được thời gian hợp lý và tối ưu nhất để bảo trì và sửa chữa động cơ. Điều này giúp công tác bảo trì động cơ

trong nhà máy trở nên dễ dàng hơn rất nhiều. Tuy nhiên, nghiên cứu vẫn còn những hạn chế về phương pháp đo đạt, thu thập dữ liệu về tình trạng của động cơ. Để có những số liệu này, cần có đội ngũ kỹ sư được đào tạo chuyên nghiệp từ Công ty Dịch vụ Khí nhưng chi phí để thuê đơn vị này vẫn chưa được đề cập đến trong quá trình lập kế hoạch bảo trì. Ngoài ra, thời gian bảo trì được xác định là theo tháng, do đó nhóm hy vọng sẽ tiếp tục phát triển kế hoạch bảo trì cụ thể vào ngày nào trong tháng.

LỜI CẢM ƠN

Đề tài này được tài trợ bởi Trường Đại học Cần Thơ, Mã số: THS2021-15.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

Quang, N. P. (2012). *Giáo trình quản lý bảo trì công nghiệp*. Nhà xuất bản Đại học Quốc gia Tp.HCM.

Leo. (2020). *Hướng dẫn toàn diện về bảo trì dựa trên điều kiện (CBM)*.
<https://speedmaint.com/huong-dan-toan-dien-ve-bao-tri-dua-tren-dieu-kien-cbm/>

Rastegari, A. (2017). *Condition Based Maintenance in the Manufacturing Industry From Strategy to Implementation*. Mälardalen University

Bengtsson, M. (2004). *Condition Based Maintenance Systems—An investigation of technical constituents and organizational aspects*. Mälardalen University.

Hwang, H. J., Lee, J. H., Hwang, J. S., & Jun, H. B. (2018). A study of the development of a

condition-based maintenance system for an LNG FPSO. *Ocean Engineering*, 164, 604-615.
 doi:10.1016/j.oceaneng.2018.07.004

Lai, V. M. (2020). *Bảo trì theo phương pháp CBM: Góp phần nâng cao hiệu quả quản lý vận hành lưới điện*.
<https://cpc.vn/vi-vn/Tin-tuc-su-kien/Tin-tuc-chi-tiet/articleId/38267>

Công ty Khí Cà Mau. (2020). *Phương án thực hiện công việc*.
<https://www.pvgas.com.vn>

Công ty Khí Cà Mau. (2020). *Báo cáo kiểm toán và năng lượng*.
<https://www.pvgas.com.vn>