



ĐẠI HỌC ĐÀ NẴNG
TRƯỜNG ĐẠI HỌC BÁCH KHOA
KHOA QUẢN LÝ DỰ ÁN



ĐỒ ÁN TỐT NGHIỆP

NGÀNH QUẢN LÝ CÔNG NGHIỆP

ĐỀ TÀI:

**NGHIÊN CỨU VÀ PHÁT TRIỂN MÔ HÌNH
BẢO TRÌ DỰ ĐOÁN CHO CÔNG TY CỔ
PHẦN THÂN ĐIỆN NÔNG SƠN - TKV**

Giảng viên hướng dẫn : TS. Huỳnh Nhật Tố
Sinh viên thực hiện : Lê Văn Đồng
Mã số sinh viên : 118200137
Lớp : 20QLCN1

Đà Nẵng, 24 tháng 06 năm 2025

NHẬN XÉT ĐỒ ÁN TỐT NGHIỆP

I. Thông tin chung:

1. Họ và tên sinh viên: Lê Văn Đồng
2. Lớp: 20QLCN1 Số thẻ sinh viên: 118200137
3. Tên đề tài: Nghiên cứu và phát triển mô hình bảo trì dự đoán cho Công ty CP Than điện Nông Sơn - TKV
4. Giảng viên hướng dẫn: TS. Huỳnh Nhật Tố

II. Nhận xét, đánh giá đồ án tốt nghiệp:

5. Về tính cấp thiết, tính mới, khả năng ứng dụng của đề tài: (tối đa 1 điểm)
.....
.....
6. Về kết quả giải quyết các nội dung nhiệm vụ yêu cầu của đồ án: (tối đa 4 điểm)
.....
.....
7. Về hình thức, cấu trúc, bố cục của đồ án tốt nghiệp: (tối đa 2 điểm)
.....
.....
8. Đề tài có giá trị khoa học/ có bài báo/ giải quyết vấn đề đặt ra của doanh nghiệp hoặc nhà trường: (tối đa 1 điểm)
.....
.....
9. Các tồn tại, thiếu sót cần bổ sung, chỉnh sửa:
.....
.....

III. Tinh thần, thái độ làm việc của sinh viên: (tối đa 2 điểm)

.....
.....

.....

IV. Đánh giá:

a. Điểm đánh giá...../10 (lấy đến 1 số lẻ thập phân)

b. Đề nghị: ☐ Được bảo vệ đồ án ☐ Bổ sung để bảo vệ ☐ Không được bảo vệ

Đà Nẵng, ngày 24 tháng 06 năm 2025

Người hướng dẫn

NHẬN XÉT PHẢN BIỆN ĐỒ ÁN TỐT NGHIỆP

I. Thông tin chung:

1. Họ và tên sinh viên: Lê Văn Đồng
2. Lớp: 20QLCN1 Số thẻ sinh viên: 118200137
3. Tên đề tài: Nghiên cứu và phát triển mô hình bảo trì dự đoán cho Công ty CP Than điện Nông Sơn - TKV.
4. Người phản biện: THs. Trần Minh Trí

II. Nhận xét, đánh giá đồ án tốt nghiệp:

5. Về tính cấp thiết, tính mới, khả năng ứng dụng của đề tài:

.....
.....

6. Về kết quả giải quyết các nội dung nhiệm vụ yêu cầu của đồ án:

.....
.....

7. Về hình thức, cấu trúc, bố cục của đồ án tốt nghiệp:

.....
.....

8. Đề tài có giá trị khoa học/ có bài báo/ giải quyết vấn đề đặt ra của doanh nghiệp hoặc nhà trường:

.....
.....

9. Các tồn tại, thiếu sót cần bổ sung, chỉnh sửa:

.....
.....
.....
.....

TT	Các tiêu chí đánh giá	Điểm tối đa	Điểm đánh giá
1	Sinh viên có phương pháp nghiên cứu phù hợp, giải quyết đủ nhiệm vụ đề án được giao	70	
1a	- Tính mới (nội dung chính của ĐATN có những phần mới so với các ĐATN trước đây). - Đề tài có giá trị khoa học, công nghệ; có thể ứng dụng thực tiễn.	10	
1b	- Kỹ năng giải quyết vấn đề; hiểu, vận dụng được kiến thức cơ bản, cơ sở, chuyên ngành trong vấn đề nghiên cứu. - Chất lượng nội dung ĐATN (thuyết minh, bản vẽ, chương trình, mô hình...).	50	
1c	- Có kỹ năng vận dụng thành thạo phần mềm ứng dụng trong vấn đề nghiên cứu (thể hiện qua kết quả tính toán bằng phần mềm). - Có kỹ năng sử dụng tài liệu tiếng nước ngoài liên quan vấn đề nghiên cứu (thể hiện qua các tài liệu tham khảo); - Có kỹ năng làm việc nhóm (đánh giá đối với đề tài do nhóm SV thực hiện);	10	
2	Kỹ năng viết:	30	
2a	- Bố cục hợp lý, lập luận rõ ràng, chặt chẽ, lời văn súc tích	20	
2b	- Thuyết minh đề án không có lỗi chính tả, in ấn, định dạng	10	
3	Tổng điểm đánh giá theo thang 100:		
	Quy về thang 10 (lấy đến 1 số lẻ)		

- Câu hỏi đề nghị sinh viên trả lời trong buổi bảo vệ:

.....

.....

.....

.....

.....

- Đề nghị: ☐ Được bảo vệ đề án ☐ Bổ sung để bảo vệ ☐ Không được bảo vệ.

Đà Nẵng, ngày 24 tháng 06 năm 2025

Người phản biện

TÓM TẮT

Tên đề tài: Nghiên cứu và phát triển mô hình bảo trì dự đoán cho Công ty Than điện Nông Sơn - TKV.

Sinh viên thực hiện: Lê Văn Đồng

Số thẻ sinh viên: 118200137 – Lớp: 20QLCN1

Công ty Than – điện Nông Sơn TKV là đơn vị trực thuộc Tập đoàn Công nghiệp Than Khoáng sản Việt Nam, có vai trò quan trọng trong việc cung cấp than cho sản xuất điện tại khu vực miền Trung. Trong quá trình thực tập và tìm hiểu thực tế tại nhà máy, em nhận thấy hệ thống máy móc, thiết bị tại đây vẫn đang được bảo trì theo lịch định kỳ cố định, chưa có sự dự báo chính xác về thời điểm hư hỏng hoặc suy giảm hiệu suất hoạt động. Điều này dẫn đến việc nhiều thiết bị phát sinh sự cố đột xuất gây gián đoạn dây chuyền sản xuất, ảnh hưởng đến tiến độ cung cấp than và hoạt động phát điện.

Dựa trên số liệu thống kê từ bộ phận kỹ thuật, trong năm 2024, một số thiết bị trọng yếu trong hệ thống như lò hơi, khói gió, cấp than, hệ thống ESP đã gặp hơn 150 sự cố lớn nhỏ, gây ra tổng thời gian dừng máy lên đến hơn 3.000 giờ. Nguyên nhân chủ yếu là do chưa áp dụng mô hình bảo trì tiên tiến dựa trên tình trạng thực tế của thiết bị.

Vì vậy, em thực hiện đề tài *“Nghiên cứu và phát triển mô hình bảo trì dự đoán cho Công ty Than – điện Nông Sơn TKV”* nhằm xây dựng một giải pháp bảo trì hiện đại, chủ động hơn, góp phần nâng cao hiệu quả sản xuất và giảm thiểu chi phí bảo trì – sửa chữa. Em đã tiến hành thu thập dữ liệu từ các cảm biến đo lưu lượng gió, áp suất, nhiệt độ của các thiết bị, phân tích lịch sử hư hỏng để tính toán các chỉ số độ tin cậy (Reliability), khả năng sẵn sàng (Availability), và tuổi thọ còn lại (Remaining Useful Life – RUL). Sau đó, em áp dụng mô hình suy giảm + ngưỡng (degradation + threshold), mô hình hai tầng, mô hình ngưỡng cảnh báo 3 tầng kết hợp với phần mềm Node-red để xây dựng mô hình dự đoán thời điểm hư hỏng và lập kế hoạch bảo trì thích hợp.

Kết quả này cho thấy mô hình bảo trì dự đoán không chỉ nâng cao hiệu suất hoạt động của thiết bị mà còn đóng vai trò quan trọng trong việc tối ưu hóa về thời gian và nguồn lực cho Công ty Than – điện Nông Sơn TKV.

NHIỆM VỤ ĐỒ ÁN TỐT NGHIỆP

1. Họ tên sinh viên: Lê Văn Đồng Số thẻ sinh viên: 118200137
2. Lớp: 20QLCN1 Khoa: Quản Lý Dự Án Ngành: Quản Lý Công Nghiệp
3. Tên đề tài đồ án: Nghiên cứu và phát triển mô hình bảo trì dự đoán cho Công ty Than
điện Nông Sơn - TKV.

1. *Đề tài thuộc diện:* ☐ Có ký kết thỏa thuận sở hữu trí tuệ đối với kết quả thực hiện

2. *Các số liệu và dữ liệu ban đầu:*

- Tài liệu về hệ thống máy móc trong cụm lò hơi.
- Dữ liệu về các lỗi hệ thống thiết bị trong quá khứ
- Quy trình vận hành sản xuất.

3. *Nội dung các phần thuyết minh và tính toán:*

- Chương 1: Giới thiệu đề tài
- Chương 2: Cơ sở lý thuyết
- Chương 3: Giới thiệu tổng quan về công ty
- Chương 4: Xây dựng mô hình bảo trì dự báo
- Chương 5: Đánh giá hiệu quả
- Kết luận và kiến nghị

4. Ngày giao nhiệm vụ đồ án: 11/02/2025

5. Ngày hoàn thành đồ án: 16/06/2025

Đà Nẵng, ngày ... tháng ... năm 2025

Trưởng bộ môn Quản lý Công nghiệp
TS. Huỳnh Nhật Tố

Người hướng dẫn

LỜI NÓI ĐẦU

Trong bối cảnh nền công nghiệp Việt Nam đang trên đà phát triển mạnh mẽ, đặc biệt là trong lĩnh vực năng lượng và khai thác tài nguyên, nhu cầu về tính liên tục, ổn định và hiệu quả trong hoạt động sản xuất ngày càng được đặt ra như một yếu tố sống còn. Cùng với xu thế chuyển đổi số và ứng dụng công nghệ vào vận hành – bảo trì, các doanh nghiệp không chỉ cần đầu tư vào dây chuyền sản xuất hiện đại mà còn cần có chiến lược bảo trì phù hợp để đảm bảo hiệu suất và tuổi thọ thiết bị.

Công ty Than – điện Nông Sơn TKV, một đơn vị thuộc Tập đoàn Công nghiệp Than – Khoáng sản Việt Nam, đóng vai trò quan trọng trong việc cung cấp than cho hoạt động phát điện khu vực miền Trung. Tuy nhiên, qua khảo sát và tìm hiểu thực tế, em nhận thấy rằng hệ thống thiết bị tại nhà máy vẫn còn nhiều hạn chế trong công tác bảo trì. Phần lớn các thiết bị vẫn đang được bảo trì theo lịch định kỳ, chưa áp dụng các phương pháp tiên tiến như bảo trì dự đoán (Predictive Maintenance). Điều này dẫn đến tình trạng thiết bị thường xuyên phát sinh sự cố bất ngờ, gây gián đoạn hoạt động sản xuất, kéo theo chi phí sửa chữa và tổn thất sản lượng không nhỏ.

Nguyên nhân chủ yếu là do công ty chưa ứng dụng công nghệ số để theo dõi, đánh giá tình trạng thiết bị một cách chính xác và liên tục. Trong bối cảnh đó, việc nghiên cứu và phát triển mô hình bảo trì dự đoán dựa trên dữ liệu cảm biến, lịch sử hư hỏng và thuật toán học máy là cần thiết và phù hợp với xu hướng chuyển đổi công nghiệp 4.0.

Với mong muốn đóng góp một phần giải pháp nhằm nâng cao hiệu quả vận hành thiết bị, giảm thiểu thời gian dừng máy và tối ưu hóa chi phí bảo trì, em chọn đề tài “Nghiên cứu và phát triển mô hình bảo trì dự đoán cho Công ty Than điện Nông Sơn - TKV” làm đề tài nghiên cứu trong đồ án tốt nghiệp.

Em hy vọng rằng kết quả nghiên cứu sẽ là cơ sở tham khảo thiết thực, góp phần hỗ trợ Công ty trong việc chuyển đổi từ mô hình bảo trì truyền thống sang bảo trì thông minh, hướng tới sản xuất bền vững và hiệu quả hơn trong tương lai.

LỜI CẢM ƠN

Để hoàn thành đồ án tốt nghiệp này, em xin bày tỏ lòng biết ơn sâu sắc đến quý thầy, cô trong Khoa Quản lý Dự án – Trường Đại học Bách Khoa – Đại học Đà Nẵng. Nhờ sự tận tâm giảng dạy, truyền đạt kiến thức cũng như định hướng của quý thầy, cô trong suốt quá trình học tập, em mới có nền tảng vững chắc để thực hiện đề tài này.

Đặc biệt, em xin gửi lời cảm ơn chân thành và sâu sắc nhất đến Thầy Huỳnh Nhật Tô – người đã trực tiếp hướng dẫn, chỉ bảo tận tình và đồng hành cùng em trong suốt quá trình thực hiện đồ án. Sự hỗ trợ, động viên và góp ý quý báu từ Thầy đã giúp em có thêm động lực, kiến thức và phương pháp tiếp cận phù hợp để hoàn thành tốt đề tài tốt nghiệp.

Em cũng xin trân trọng gửi lời cảm ơn đến Ban Lãnh đạo, các phòng ban chuyên môn và các anh/chị cán bộ, kỹ sư, công nhân viên tại Công ty Than – điện Nông Sơn TKV đã tạo điều kiện thuận lợi cho em trong quá trình thực tập, tham quan, tìm hiểu thực tế. Đặc biệt, em xin gửi lời cảm ơn sâu sắc đến các anh trong bộ phận kỹ thuật và bảo trì thiết bị, những người đã nhiệt tình hỗ trợ, cung cấp số liệu thực tế, chia sẻ kinh nghiệm quý báu, giúp em hiểu rõ hơn về hệ thống máy móc, thiết bị và công tác bảo trì tại nhà máy.

Mặc dù đã nỗ lực hết sức để hoàn thiện đồ án, nhưng với thời gian hạn chế và năng lực còn nhiều thiếu sót, em không tránh khỏi những sai sót trong nội dung trình bày và phân tích. Em rất mong nhận được những ý kiến đóng góp từ quý Thầy Cô và quý Anh/Chị tại doanh nghiệp để em có thể tiếp tục hoàn thiện kiến thức và năng lực chuyên môn trong tương lai.

Cuối cùng, em xin kính chúc quý Thầy Cô luôn mạnh khỏe, hạnh phúc và tiếp tục gặt hái nhiều thành công trong sự nghiệp giảng dạy. Kính chúc quý Anh/Chị tại Công ty Than – điện Nông Sơn TKV luôn dồi dào sức khỏe, an toàn trong lao động và hoàn thành xuất sắc mọi nhiệm vụ được giao.

Em xin chân thành cảm ơn!

LỜI CAM ĐOAN

Tôi tên là Lê Văn Đồng, là sinh viên Trường Đại học Bách Khoa – Đại học Đà Nẵng. Tôi xin cam đoan rằng: đồ án tốt nghiệp với đề tài: “Nghiên cứu và phát triển mô hình bảo trì dự đoán cho Công ty Than điện Nông Sơn - TKV” là kết quả của quá trình nghiên cứu, tìm hiểu và thực hiện nghiêm túc của cá nhân tôi trong suốt thời gian học tập và thực tập tại doanh nghiệp, dưới sự hướng dẫn trực tiếp của giảng viên hướng dẫn và sự hỗ trợ của Công ty Than điện Nông Sơn - TKV.

Trong quá trình thực hiện đồ án, tôi đã cố gắng tiếp cận vấn đề một cách khách quan, khoa học và trung thực. Các số liệu, thông tin thực tế được sử dụng trong đồ án đều được thu thập từ doanh nghiệp, thông qua quan sát, phỏng vấn và tài liệu kỹ thuật. Các phân tích và đánh giá là do cá nhân tôi thực hiện trên cơ sở kiến thức đã học và tham khảo các nguồn tài liệu đáng tin cậy, có trích dẫn rõ ràng trong danh mục tài liệu tham khảo.

Tôi hoàn toàn chịu trách nhiệm về tính chính xác, trung thực của các nội dung trong đồ án. Nếu phát hiện có bất kỳ hành vi sao chép, đạo văn, hay thiếu trung thực nào trong quá trình thực hiện, tôi xin chịu hoàn toàn trách nhiệm trước Hội đồng chấm đồ án, Nhà trường và pháp luật theo đúng quy định.

MỤC LỤC

TÓM TẮT	
NHIỆM VỤ ĐỒ ÁN TỐT NGHIỆP	
LỜI NÓI ĐẦU.....	ii
LỜI CẢM ƠN.....	iii
LỜI CAM ĐOAN.....	iv
DANH MỤC HÌNH ẢNH	viii
DANH MỤC BẢNG BIỂU	ix
CHƯƠNG 1 GIỚI THIỆU ĐỀ TÀI.....	1
1.1 Cơ sở hình thành đề tài	1
1.2 Mục tiêu của đề tài	1
1.3 Ý nghĩa của đề tài	2
1.4 Nhiệm vụ của đề tài	2
1.5 Phương pháp nghiên cứu	2
1.6 Phạm vi đề tài	3
CHƯƠNG II CƠ SỞ LÝ THUYẾT.....	4
2.1. Khái niệm về bảo trì công nghiệp.....	4
2.1.1. Định nghĩa bảo trì.....	4
2.1.2. Mục tiêu của bảo trì.....	4
2.2. Bảo trì dự báo (Predictive Maintenance - PdM)	4
2.2.1 Nguyên lý hoạt động của bảo trì dự báo.....	4
2.3 Các chỉ số đánh giá hiệu quả bảo trì.....	5
2.3.1 Độ tin cậy	5
2.3.2 Chỉ số khả năng sẵn sàng.....	6
2.3.3 Thời gian dừng máy trung bình.....	7

2.4 Mô hình Pareto	7
2.4.1 Biểu đồ Pareto	8
2.4.2 Ứng dụng của mô hình Pareto trong bảo trì dự báo	8
2.5 Mô hình đánh giá ưu tiên hai tầng (Two-Level Prioritization Model).....	8
2.5.1 Các tiêu chí đánh giá thường dùng.....	9
2.5.2 Cách thức áp dụng	10
2.6 Mô hình Degradation + Threshold (Suy Giảm - Ngưỡng).....	10
2.6.1 Nguyên lý hoạt động	10
2.6.2 Biểu diễn mô hình	10
CHƯƠNG 3 GIỚI THIỆU TỔNG QUAN VỀ CÔNG TY	12
3.1 Giới thiệu về công ty	12
3.1.1 Quá trình hình thành và phát triển.....	12
3.1.2 Sản phẩm (Điện – Than).....	13
3.1.3 Tầm nhìn – sứ mệnh của doanh nghiệp.....	14
3.1.4 Sơ đồ tổ chức của doanh nghiệp.....	14
3.2 Quy trình vận hành tổng thể nhà máy	16
3.3 Các khu vực trong nhà máy.....	18
3.3.1 Cụm Tuabin hơi.....	18
3.3.2 Cụm lò hơi	19
3.4 Quy trình vận hành cụm lò hơi.....	20
3.4.1 Khởi động lò hơi.....	21
3.4.2 Giám sát và điều chỉnh lò hơi trong thời gian vận hành	22
3.4.3 Dừng lò hơi.....	22
3.4.4 Làm mát lò sau khi dừng	23
3.5 Nguyên lý cấu tạo của các hệ thống khu vực cụm lò hơi.....	23
3.5.1 Hệ thống lò hơi tăng sôi tuần hoàn CFB	24

3.5.2 Hệ thống khói gió	25
3.5.3 Hệ thống cấp than vào lò	27
3.5.4 Hệ thống lọc bụi tĩnh điện ESP	28
3.5.5 Hệ thống thải xỉ tro đáy	29
3.5.6 Hệ thống thổi bụi	30
3.6 Đánh giá thực trạng bảo trì tại nhà máy	31
3.6.1 Thời gian vận hành của nhà máy	31
3.6.2 Thống kê số lượng và tình trạng của các hệ thống trong nhà máy	33
3.6.3 Tổng hợp và đưa ra kết luận cho từng hệ thống	36
CHƯƠNG IV XÂY DỰNG MÔ HÌNH BẢO TRÌ DỰ BÁO	39
4.1 Phân tích dữ liệu lỗi quá khứ	39
4.2 Tích hợp cảm biến và ghi dữ liệu hiện tại	46
4.3 Ứng dụng phần mềm Node-RED trong việc triển khai mô hình	50
4.3.1 Phần mềm Node-RED	50
4.3.2 Chức năng các node trong phần mềm	51
4.3.3 Triển khai xây dựng mô hình	53
4.4 Nâng cao độ chính xác của ngưỡng cảnh báo trong mô hình bảo trì dự báo	69
CHƯƠNG V ĐÁNH GIÁ KẾT QUẢ ĐẠT ĐƯỢC	71
5.1 Phân tích sự thay đổi các chỉ số bảo trì	71
5.2 Kết quả khi áp dụng mô hình	73
5.3 Nhận xét kết quả đạt được	76
KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ	79

DANH MỤC HÌNH ẢNH

<i>Hình 2.1 Sơ đồ minh họa mô hình suy ngẫm</i>	11
<i>Hình 3.1 Hình ảnh Công ty CP Than – Điện Nông Sơn từ trên cao</i>	12
<i>Hình 3.2 Hoạt động khai thác than của Công ty CP Than – Điện Nông Sơn</i>	13
<i>Hình 3.3 Sơ đồ cơ cấu tổ chức Công ty CP Than – Điện Nông Sơn</i>	14
<i>Hình 3.4 Quy trình vận hành tổng thể của nhà máy</i>	18
<i>Hình 3.5 Sơ đồ quy trình vận hành cụm lò hơi</i>	20
<i>Hình 3.6 Sơ đồ quy trình khởi động lò hơi</i>	21
<i>Hình 3.7 Sơ đồ cấu tạo của hệ thống lò hơi</i>	24
<i>Hình 3.8 Cấu tạo khói gió sơ cấp</i>	25
<i>Hình 3.9 Cấu tạo khói gió thứ cấp</i>	25
<i>Hình 3.10 Sơ đồ cấu tạo hệ thống cấp than vào lò</i>	27
<i>Hình 3.11 Sơ đồ cấu tạo hệ thống lọc bụi tĩnh điện ESP</i>	28
<i>Hình 3.12 Sơ đồ cấu tạo hệ thống thải xỉ tro đáy</i>	29
<i>Hình 3.13 Sơ đồ cấu tạo hệ thống thổi bụi</i>	30
<i>Hình 4.2 Phần mềm tạo lập mô hình bảo trì dự đoán</i>	51
<i>Hình 4.4 Giao diện hiển thị mô hình dự đoán trên phần mềm mô phỏng</i>	57
<i>Hình 4.5 Biểu đồ lịch sử được lưu lại khi ghi nhận giá trị trong vùng thiết lập</i>	63
<i>Hình 4.6 Giao diện đăng nhập phân quyền truy cập</i>	68
<i>Hình 4.7 Biểu đồ Control chart trong hệ thống lò hơi</i>	68

DANH MỤC BẢNG BIỂU

<i>Bảng 2.1 Chỉ số khả năng sẵn sàng của một số lĩnh vực ở Việt Nam.....</i>	<i>7</i>
<i>Bảng 2.2 Các tiêu chí đánh giá mô hình ưu tiên hai tầng.....</i>	<i>9</i>
<i>Bảng 3.2 Thông số kỹ thuật của hệ thống khói gió</i>	<i>26</i>
<i>Bảng 3.3 Thông số kỹ thuật của hệ thống cấp than</i>	<i>27</i>
<i>Bảng 3.4 thông số kỹ thuật của hệ thống lọc bụi tĩnh điện ESP</i>	<i>29</i>
<i>Bảng 3.5 Thông số kỹ thuật của hệ thống thải xỉ tro đáy.....</i>	<i>30</i>
<i>Bảng 3.6 Thông số hệ thống thổi bụi.....</i>	<i>31</i>
<i>Bảng 3.7 Thời gian vận hành sửa chữa bảo dưỡng tại nhà máy</i>	<i>32</i>
<i>Bảng 3.8 Tổng thời gian sửa chữa bảo dưỡng trong năm</i>	<i>32</i>
<i>Bảng 3.9 Tần suất hư hỏng và thời gian dừng máy trong năm 2024.....</i>	<i>33</i>
<i>Đơn vị: Giờ.....</i>	<i>33</i>
<i>Bảng 3.10 Thống kê thời gian hoạt động thực tế và kế hoạch trong năm 2024</i>	<i>33</i>
<i>Bảng 3.11 Tỷ lệ hư hỏng của từng hệ thống.....</i>	<i>34</i>
<i>Bảng 3.12 Thời gian trung bình giữa các lần hư hỏng của từng hệ thống</i>	<i>34</i>
<i>Bảng 3.13 Thời gian dừng máy trung bình của từng hệ thống</i>	<i>35</i>
<i>Bảng 3.14 Chỉ số khả năng sẵn sàng của từng hệ thống</i>	<i>35</i>
<i>Bảng 3.15 Chỉ số tin cậy của từng hệ thống.....</i>	<i>36</i>
<i>Bảng 3.16 Bảng tổng hợp các chỉ số tính toán của từng hệ thống.....</i>	<i>36</i>
<i>Bảng 3.17 Phân tích dữ liệu thu thập được thông qua quá trình tính toán</i>	<i>37</i>
<i>Bảng 4.1 Các dạng hư hỏng thường xảy ra trên hệ thống lò hơi.....</i>	<i>39</i>
<i>Bảng 4.2 Các dạng hư hỏng thường xảy ra trên hệ thống khói gió</i>	<i>39</i>
<i>Bảng 4.3 Các dạng hư hỏng thường xảy ra trên hệ thống cấp than</i>	<i>39</i>
<i>Bảng 4.4 Các dạng hư hỏng thường xảy ra trên hệ thống lọc bụi tĩnh điện ESP</i>	<i>40</i>
<i>Bảng 4.5 Các dạng hư hỏng thường xảy ra trên hệ thống thải xỉ tro đáy</i>	<i>40</i>

<i>Bảng 4.6 Các dạng hư hỏng thường xảy ra trên hệ thống thổi bụi.....</i>	<i>40</i>
<i>Bảng 4.7 Sắp xếp số lần hư hỏng theo thứ tự giảm dần.....</i>	<i>41</i>
<i>Bảng 4.8 Những lỗi được xem xét bảo trì thông qua mô hình Pareto</i>	<i>43</i>
<i>Bảng 4.9 Những lỗi được lựa chọn bảo trì dự đoán tầng 1</i>	<i>44</i>
<i>Bảng 4.10 Những lỗi được lựa chọn bảo trì dự đoán tầng 2</i>	<i>44</i>
<i>Bảng 4.11 Tổng kết các lỗi được lựa chọn bảo trì dự đoán.....</i>	<i>46</i>
<i>Bảng 4.12 Xác định các loại cảm biến cho từng lỗi.....</i>	<i>46</i>
<i>Bảng 4.13 Xác định cảm biến và vị trí lắp đặt cảm biến</i>	<i>48</i>
<i>Bảng 4.14 Thông số kỹ thuật của từng loại cảm biến</i>	<i>49</i>
<i>Bảng 4.15 Chức năng của các node trong phần mềm mô phỏng.....</i>	<i>51</i>
<i>Bảng 4.16 Các thông số và ngưỡng thu thập từ cảm biến</i>	<i>53</i>
<i>Bảng 4.17 Cấu trúc cảnh báo ba tầng & phản ứng thông minh</i>	<i>54</i>
<i>Bảng 4.18 Thông số ngưỡng cho cảm biến đo lưu lượng gió</i>	<i>59</i>
<i>Bảng 4.19 So sánh các mô hình tính toán RUL.....</i>	<i>65</i>

CHƯƠNG 1 GIỚI THIỆU ĐỀ TÀI

1.1 Cơ sở hình thành đề tài

Trong xu thế toàn cầu hóa và chuyển đổi số hiện nay, các doanh nghiệp sản xuất đang phải đối mặt với áp lực nâng cao năng suất, giảm chi phí và tối ưu hóa hiệu quả vận hành để duy trì lợi thế cạnh tranh. Một trong những yếu tố then chốt ảnh hưởng đến năng suất và chất lượng sản phẩm là hiệu quả hoạt động của dây chuyền thiết bị và hệ thống máy móc sản xuất. Đặc biệt trong các ngành công nghiệp nặng như khai thác than và sản xuất điện, thiết bị hoạt động liên tục trong điều kiện khắc nghiệt, rất dễ xảy ra hỏng hóc bất ngờ nếu không có phương pháp bảo trì phù hợp.

Công ty CP Than - Điện Nông Sơn – TKV, đơn vị trực thuộc Tập đoàn Than - Khoáng sản Việt Nam (TKV), hiện đang áp dụng chủ yếu các phương pháp bảo trì truyền thống như bảo trì định kỳ hoặc bảo trì khi xảy ra sự cố. Tuy nhiên, các phương pháp này bộc lộ nhiều hạn chế như: không phát hiện sớm các hư hỏng tiềm ẩn, gây gián đoạn dây chuyền sản xuất, kéo theo tổn thất về chi phí, thời gian và nhân lực. Trong quá trình khảo sát thực tế tại nhà máy, cho thấy nhiều thiết bị có thời gian dừng máy dài, tần suất hỏng hóc lặp lại cao, và phần lớn chưa có hệ thống giám sát hiệu suất theo thời gian thực.

Trước thực trạng đó, việc nghiên cứu và triển khai mô hình bảo trì dự báo (Predictive Maintenance – PdM) là giải pháp mang tính chiến lược. Mô hình PdM giúp doanh nghiệp chủ động bảo dưỡng thiết bị trước khi sự cố xảy ra, nâng cao độ tin cậy vận hành, giảm chi phí sửa chữa đột xuất và kéo dài tuổi thọ thiết bị.

Từ những lý do trên, việc thực hiện đề tài “Nghiên cứu và phát triển mô hình bảo trì dự báo cho Công ty Than - Điện Nông Sơn – TKV” không chỉ có ý nghĩa về mặt kỹ thuật và quản lý thiết bị, mà còn góp phần nâng cao năng lực vận hành, giảm rủi ro và tối ưu hóa hoạt động sản xuất trong thời đại công nghiệp 4.0.

1.2 Mục tiêu của đề tài

Đề tài được thực hiện tại Nhà máy nhiệt điện Nông Sơn - TKV với những mục tiêu sau:

- Xác định thực trạng về công tác bảo trì máy móc, thiết bị trong hệ thống sản xuất điện tại Nhà máy nhiệt điện Nông Sơn.

- Phân tích dữ liệu vận hành để phát hiện hư hỏng, ước lượng thời gian còn lại trước khi xảy ra sự cố (RUL), khả năng xảy ra sự cố và đánh giá mức độ tin cậy của các thiết bị trọng yếu trong nhà máy.
- Đề xuất và phát triển mô hình bảo trì dự báo phù hợp, giúp tối ưu hóa thời gian bảo trì, giảm thời gian dừng máy không kế hoạch, tăng độ tin cậy và hiệu suất vận hành của hệ thống phát điện.

1.3 Ý nghĩa của đề tài

Đối với doanh nghiệp việc ứng dụng mô hình bảo trì dự báo mang ý nghĩa quan trọng trong việc nâng cao tính chủ động trong công tác bảo trì, giúp giảm thiểu các sự cố đột xuất, tối ưu hóa chi phí bảo dưỡng, nâng cao hiệu suất và độ tin cậy của hệ thống phát điện. Điều này đặc biệt cần thiết trong các nhà máy nhiệt điện, nơi sự cố thiết bị có thể gây ảnh hưởng lớn đến an toàn và sản lượng điện.

Đối với sinh viên việc áp dụng kiến thức về phân tích dữ liệu, kỹ thuật học máy và bảo trì tiên đoán đã học vào thực tiễn doanh nghiệp. Đồng thời, đề tài giúp sinh viên phát triển kỹ năng thực hành thu thập – xử lý dữ liệu thời gian thực, đánh giá hiệu suất thiết bị và xây dựng mô hình dự báo. Đây là nền tảng vững chắc cho quá trình học tập và làm việc sau này.

1.4 Nhiệm vụ của đề tài

- Tìm hiểu hoạt động sản xuất và hệ thống thiết bị tại Nhà máy nhiệt điện Nông Sơn – TKV.
- Đánh giá thực trạng công tác bảo trì hiện tại tại nhà máy.
- Xác định các vấn đề chính liên quan đến sự cố, hư hỏng thiết bị.
- Thu thập, xử lý và phân tích dữ liệu vận hành thiết bị.
- Tìm ra nguyên nhân gốc rễ và xây dựng mô hình bảo trì dự báo phù hợp.
- Đánh giá hiệu quả của mô hình đề xuất khi được áp dụng vào thực tế.

1.5 Phương pháp nghiên cứu

- Vận dụng các kiến thức lý thuyết về bảo trì, học máy và thống kê.
- Khảo sát thực tế và thu thập dữ liệu từ các thiết bị trong Nhà máy nhiệt điện Nông Sơn.
- Phân tích dữ liệu lịch sử và dữ liệu thời gian thực để huấn luyện và kiểm thử mô hình dự báo.
- Nghiên cứu tài liệu từ các nguồn học thuật, sách, báo cáo khoa học, các công trình đã công bố liên quan đến bảo trì dự báo và kỹ thuật phân tích dữ liệu công nghiệp.

1.6 Phạm vi đề tài

Đề tài không nhằm bao quát toàn bộ hệ thống thiết bị của Nhà máy nhiệt điện Nông Sơn, mà chỉ tập trung vào một số nhóm thiết bị tiêu biểu có vai trò quan trọng, đáp ứng đủ điều kiện về dữ liệu vận hành để dễ dàng triển khai mô hình bảo trì dự báo. Việc ứng dụng mô hình trong đề tài cũng chỉ dừng lại ở mức độ thử nghiệm và mô phỏng đánh giá hiệu quả, chưa thực hiện tích hợp vào hệ thống vận hành thực tế.

Về phạm vi không gian, đề tài được thực hiện tại Nhà máy nhiệt điện Nông Sơn – TKV, trong đó tập trung vào một số hệ thống thiết bị chủ chốt như: hệ thống lò hơi, hệ thống khói gió, hệ thống thải xỉ tro đáy và hệ thống băng tải cấp than. Đây là những bộ phận có tần suất hoạt động cao, ảnh hưởng trực tiếp đến hiệu suất vận hành và tính liên tục của quá trình phát điện.

Về phạm vi nội dung, đề tài tập trung nghiên cứu lý thuyết về các mô hình bảo trì, đặc biệt là mô hình bảo trì dự báo (Predictive Maintenance – PdM. Song song với việc nghiên cứu lý thuyết, đề tài cũng tiến hành thu thập dữ liệu vận hành thực tế từ các thiết bị trong nhà máy như: dữ liệu cảm biến lưu lượng gió, nhiệt độ, áp suất và dòng điện.

Về phạm vi thời gian, toàn bộ dữ liệu được thu thập, xử lý và phân tích trong khoảng thời gian từ tháng 3/2025 đến tháng 6/2025

Đồ án tốt nghiệp “ Nghiên cứu và phát triển mô hình bảo trì dự báo cho Công ty Than điện Nông Sơn – TKV” gồm 5 chương:

Chương 1: Giới thiệu đề tài

Chương 2: Cơ sở lý thuyết

Chương 3: Giới thiệu tổng quan về Công ty Than điện Nông Sơn - TKV

Chương 4: Xây dựng mô hình bảo trì dự báo

Chương 5: Đánh giá kết quả đạt được

CHƯƠNG II CƠ SỞ LÝ THUYẾT

2.1. Khái niệm về bảo trì công nghiệp

2.1.1. Định nghĩa bảo trì

Bảo trì công nghiệp là một quá trình bao gồm các hoạt động kiểm tra, sửa chữa, thay thế và cải tiến nhằm đảm bảo thiết bị, máy móc hoạt động hiệu quả và an toàn trong suốt vòng đời sử dụng. Mục tiêu của bảo trì là giảm thiểu thời gian ngừng hoạt động ngoài kế hoạch, kéo dài tuổi thọ thiết bị, nâng cao hiệu suất sản xuất và tối ưu hóa chi phí vận hành. Trong bối cảnh công nghiệp hiện đại, bảo trì không chỉ đơn thuần là sửa chữa hỏng hóc mà còn mang tính chiến lược, giúp doanh nghiệp nâng cao năng lực cạnh tranh và tối ưu hóa chu trình sản xuất.

2.1.2. Mục tiêu của bảo trì

Bảo trì đóng vai trò quan trọng trong việc đảm bảo hoạt động liên tục và ổn định của thiết bị trong hệ thống sản xuất. Các mục tiêu chính của bảo trì bao gồm:

- Giảm thiểu thời gian dừng máy: Thời gian ngừng hoạt động của thiết bị do hỏng hóc có thể gây ảnh hưởng lớn đến năng suất sản xuất. Một hệ thống bảo trì hiệu quả giúp hạn chế tối đa tình trạng này.
- Nâng cao độ tin cậy và tuổi thọ thiết bị: Việc thực hiện bảo trì định kỳ và có kế hoạch giúp giảm thiểu rủi ro hỏng hóc đột ngột, từ đó kéo dài tuổi thọ máy móc.
- Tối ưu hóa chi phí bảo trì: Áp dụng các phương pháp bảo trì phù hợp giúp doanh nghiệp tiết kiệm chi phí sửa chữa, giảm thiểu tổn thất do thiết bị ngừng hoạt động.
- Đảm bảo an toàn vận hành: Thiết bị được bảo trì đúng cách sẽ giảm nguy cơ tai nạn lao động, bảo vệ người vận hành và môi trường làm việc.

2.2. Bảo trì dự báo (Predictive Maintenance - PdM)

Bảo trì dự báo là phương pháp sử dụng dữ liệu lịch sử và thuật toán trí tuệ nhân tạo để dự đoán chính xác thời điểm thiết bị có khả năng hỏng hóc. So với các phương pháp truyền thống, bảo trì dự báo giúp tối ưu hóa quy trình bảo trì, giảm thiểu thời gian ngừng hoạt động và tăng hiệu suất sản xuất. Tuy nhiên, phương pháp này yêu cầu doanh nghiệp đầu tư vào công nghệ xử lý dữ liệu và phân tích AI.

2.2.1 Nguyên lý hoạt động của bảo trì dự báo

Bảo trì dự báo hoạt động dựa trên bốn bước chính:

- Thu thập dữ liệu: Các cảm biến được gắn trên thiết bị giúp thu thập dữ liệu hoạt động theo thời gian thực, bao gồm nhiệt độ, độ rung, dòng điện...
- Xử lý dữ liệu: Dữ liệu thô từ cảm biến được làm sạch và chuẩn hóa để đảm bảo tính chính xác khi đưa vào phân tích.
- Phân tích và mô hình dự báo: Các thuật toán học máy như hồi quy tuyến tính, Mạng nơ-ron nhân tạo sẽ phân tích dữ liệu, phát hiện các dấu hiệu bất thường và dự đoán thời điểm thiết bị có khả năng hỏng hóc.
- Cảnh báo và đề xuất bảo trì: Hệ thống sẽ gửi cảnh báo cho bộ phận bảo trì, đề xuất thời điểm tối ưu để thực hiện sửa chữa trước khi hỏng hóc xảy ra.

2.3 Các chỉ số đánh giá hiệu quả bảo trì

2.3.1 Độ tin cậy

Độ tin cậy (Reliability) của một hệ thống hoặc thiết bị là xác suất mà nó hoạt động một cách chính xác trong một khoảng thời gian nhất định dưới điều kiện hoạt động cụ thể mà không gặp lỗi. Độ tin cậy giúp đánh giá khả năng hoạt động liên tục của lò hơi tầng sôi tuần hoàn (CFB) và xác định thời điểm bảo trì tối ưu.

$$R(t) = e^{-\int \lambda(t)dt}$$

Trong đó :

- $R(t)$ = Độ tin cậy tại thời điểm t (xác suất hệ thống không bị hỏng trước thời điểm t).
- λ = Tỷ lệ hỏng hóc (Failure Rate), hay còn gọi là hệ số hỏng hóc, đơn vị (1/giờ, 1/ngày, 1/năm, tùy hệ thống).
- t = Thời gian hoạt động.
- Ý nghĩa: Khi t càng lớn, $R(t)$ càng giảm, nghĩa là xác suất hệ thống bị hỏng theo thời gian tăng lên.

Thước đo độ tin cậy

(1) Hàm số độ tin cậy tại thời điểm t

$$R(t) = e^{-\int_0^t \lambda(t)dt}$$

(2) Tỷ lệ hư hỏng - Failure rate (λ)

- $\lambda (\%) = (\text{Số lần hư hỏng} / \text{số thiết bị}) * 100\%$
- $\lambda = \text{Số lần hư hỏng} / \text{số giờ hoạt động của thiết bị}$

(3) Thời gian hư hỏng trung bình

$$\text{Thời gian hư hỏng trung bình} = \text{MTBF} / \text{MTTF}$$

- MTTF (Mean Time to Failures): Thời gian hoạt động trung bình đến khi hư hỏng, nếu sản phẩm chỉ sử dụng một lần rồi bỏ.
- MTBF (Mean Time Between Failures) là thời gian trung bình giữa các lần hư hỏng, áp dụng cho thiết bị được sửa chữa và đưa trở lại hoạt động.

(4) Thời gian trung bình giữa những lần hư hỏng

$$\text{MTBF} = 1 / \lambda$$

2.3.2 Chỉ số khả năng sẵn sàng

Chỉ số khả năng sẵn sàng (Availability – viết tắt là A%) là một chỉ số quan trọng trong quản lý thiết bị và bảo trì, phản ánh mức độ mà thiết bị hoặc hệ thống sẵn sàng để hoạt động khi cần thiết.

Khi khả năng sẵn sàng của máy móc thiết bị sau khi áp dụng các hình thức bảo trì khác tiên tiến hơn so với phương pháp bảo trì trước khi áp dụng thì hoạt động bảo trì đạt hiệu quả, máy móc thiết bị đạt được khả năng sẵn sàng cao, nâng cao hiệu quả thiết bị, gia tăng năng suất, chất lượng sản phẩm sản xuất ra.

$$A(\%) = \frac{T_{hd}}{T_{hd} + T_{dm}} \times 100$$

$$\text{Hay, } A(\%) = \frac{MTBF}{MTBF + MDT} \times 100 = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR + MWT} \times 100$$

Trong đó:

- A là chỉ số khả năng sẵn sàng.
- Thđ là tổng thời gian máy hoạt động.
- Tdm là tổng thời gian dừng máy.
- MTBF (Mean Time Between Failures) là thời gian trung bình giữa các lần hư hỏng.

$$\text{MTBF} = \frac{T_{hd}}{n} \text{ (giờ/lần hư hỏng)}$$

Trong đó

- Thđ là thời gian máy hoạt động.

- n là số lần hư hỏng trong thời gian hoạt động.

Bảng 2.1 Chỉ số khả năng sẵn sàng của một số lĩnh vực ở Việt Nam

	A (%)
Đối với nhà máy thép	85 – 90
Đối với nhà máy giấy	90 – 95
Đối với xưởng gia công kim loại	80 – 85
Đối với nhà máy hóa chất	85 – 90
Đối với nhà máy điện	95 – 99

(Nguồn : Phạm Ngọc Tuấn – Sổ tay bảo dưỡng công nghiệp)

- $A\% \geq 90\%$: Khả năng sẵn sàng của máy cao.
- $A\% = 80-85\%$: Khả năng sẵn sàng của máy đạt mức trung bình, có thể chấp nhận được.
- $A\% < 80\%$: Khả năng sẵn sàng của máy rất thấp, cần cải thiện.

Chỉ số khả năng sẵn sàng tăng 1% sẽ làm tăng:

- 750.000 USD đối với một nhà máy thép.
- 90.000 USD đối với một nhà máy giấy.
- 30.000 USD đối với một xưởng gia công kim loại.
- 50.000 USD đối với một nhà máy hóa chất.
- 50.000 USD đối với một nhà máy điện

2.3.3 Thời gian dừng máy trung bình

MDT (Mean Downtime) là thời gian dừng máy trung bình. MDT được tính bằng tổng của thời gian chờ đợi trung bình và thời gian sửa chữa trung bình.

$$MDT = MWT + MTTR$$

hay $MDT = T_{dm}/n$ = thời gian chờ đợi trung bình + thời gian sửa chữa trung bình

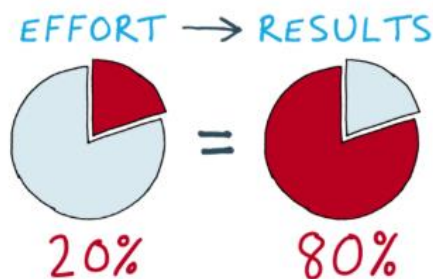
Trong đó:

- MDT (Mean Downtime): Thời gian dừng máy trung bình
- MWT (Mean Waiting Time): Thời gian chờ đợi trung bình để được sửa chữa (chờ kỹ thuật viên, phụ tùng,...)
- MTTR (Mean Time to Repair): Thời gian sửa chữa trung bình

2.4 Mô hình Pareto

Mô hình Pareto, còn được gọi là nguyên lý 80/20, là một công cụ phân tích được sử dụng phổ biến trong quản lý chất lượng và bảo trì công nghiệp nhằm xác định và tập trung vào những nguyên nhân quan trọng nhất gây ra vấn đề. Nguyên lý này được phát triển dựa trên quan sát của nhà kinh tế học người Ý Vilfredo Pareto, khi ông nhận thấy rằng 80% tài sản ở Ý thuộc sở hữu của 20% dân số. Sau này, nguyên lý này được áp dụng rộng rãi trong nhiều lĩnh vực, đặc biệt là trong phân tích lỗi và ra quyết định.

Trong bối cảnh công nghiệp, nguyên lý Pareto thường được hiểu theo nghĩa: 80% hậu quả (như lỗi máy, hư hỏng thiết bị, thời gian dừng máy,...) đến từ 20% nguyên nhân. Việc áp dụng mô hình Pareto giúp các nhà quản lý bảo trì xác định và tập trung nguồn lực để giải quyết ít nguyên nhân nhưng gây ra nhiều ảnh hưởng nhất, thay vì phân tán nguồn lực vào các nguyên nhân không đáng kể.



2.4.1 Biểu đồ Pareto

Biểu đồ Pareto là một dạng biểu đồ cột kết hợp với biểu đồ đường, trong đó:

- Trục tung bên trái thể hiện tần suất hoặc mức độ ảnh hưởng của các nguyên nhân.
- Trục tung bên phải thể hiện tỷ lệ phần trăm tích lũy.
- Các nguyên nhân được sắp xếp theo thứ tự giảm dần từ trái sang phải.
- Đường tích lũy phần trăm giúp xác định nhóm nguyên nhân nào tạo thành 80% ảnh hưởng.

2.4.2 Ứng dụng của mô hình Pareto trong bảo trì dự báo

Trong bảo trì dự báo (Predictive Maintenance - PdM), biểu đồ Pareto được sử dụng để:

- Xác định nhóm thiết bị hoặc lỗi gây ngừng máy thường xuyên nhất.
- Ưu tiên triển khai mô hình dự báo hoặc cảm biến giám sát cho các thiết bị quan trọng nhất.
- Tối ưu hóa nguồn lực bảo trì, giảm chi phí và thời gian dừng máy.

2.5 Mô hình đánh giá ưu tiên hai tầng (Two-Level Prioritization Model)

Mô hình đánh giá ưu tiên hai tầng là phương pháp được sử dụng để xác định mức độ ưu tiên trong việc bảo trì hoặc cải tiến hệ thống, đặc biệt hữu ích khi có nhiều thiết bị, lỗi hư hỏng hoặc yếu tố ảnh hưởng cần được đánh giá và lựa chọn để hành động trước. Mô hình này thường được áp dụng trong môi trường công nghiệp như các nhà máy sản xuất, nhà máy nhiệt điện nơi có nhiều thiết bị quan trọng hoạt động đồng thời và yêu cầu bảo trì khác nhau.

Mô hình ưu tiên hai tầng hoạt động dựa trên nguyên tắc chia quá trình đánh giá thành hai giai đoạn (hai tầng):

- Tầng 1 – Sàng lọc sơ bộ (Pre-screening): Xác định danh sách các thiết bị/hư hỏng quan trọng dựa trên một số tiêu chí đơn giản và dễ thu thập như: tần suất hư hỏng, thời gian dừng máy, khả năng sẵn sàng, độ tin cậy,...
- Tầng 2 – Đánh giá chi tiết (In-depth evaluation): Đối với các đối tượng đã qua tầng 1, mô hình tiếp tục đánh giá chi tiết hơn dựa trên các tiêu chí kỹ thuật và chiến lược như: độ nghiêm trọng, ảnh hưởng đến hệ thống, khả năng dự đoán, mức độ an toàn,...

2.5.1 Các tiêu chí đánh giá thường dùng

Các tiêu chí đánh giá trong mô hình này có thể thay đổi tùy vào mục tiêu và môi trường áp dụng, nhưng phổ biến nhất bao gồm:

Bảng 2.2 Các tiêu chí đánh giá mô hình ưu tiên hai tầng

Tầng đánh giá	Tiêu chí	Mô tả
Tầng 1	Tần suất hư hỏng	Số lần xảy ra lỗi trong khoảng thời gian nhất định
	Thời gian dừng máy	Tổng thời gian mất sản xuất do hỏng thiết bị
	Độ tin cậy	Khả năng hoạt động trong một khoảng thời gian được xét
	Khả năng sẵn sàng	Thiết bị đang ở trạng thái sẵn sàng vận hành
Tầng 2	Mức độ nghiêm trọng	Ảnh hưởng của lỗi đến hệ thống (an toàn, chất lượng, hiệu suất)
	Khả năng phát hiện	Có thể theo dõi và dự báo lỗi trước không?
	Độ phù hợp	Áp dụng cảm biến liệu có phù hợp

	Ảnh hưởng lan truyền	Lỗi có gây hư hỏng dây chuyền hoặc thiết bị khác không?
--	----------------------	---

2.5.2 Cách thức áp dụng

- Thu thập dữ liệu vận hành và lỗi từ các thiết bị (cảm biến, lịch sử bảo trì,...).
- Sử dụng các tiêu chí tầng 1 để lọc ra nhóm thiết bị/hư hỏng đáng chú ý nhất.
- Áp dụng tầng 2 để đánh giá chuyên sâu và xác định thiết bị cần triển khai bảo trì dự báo trước.
- Kết hợp kết quả với mô hình Pareto hoặc phân tích RUL để đưa ra kế hoạch hành động ưu tiên.

2.6 Mô hình Degradation + Threshold (Suy Giảm - Ngưỡng)

Mô hình Degradation + Threshold là một phương pháp phổ biến trong lĩnh vực bảo trì dự báo (Predictive Maintenance – PdM) nhằm theo dõi sự suy giảm của thiết bị theo thời gian và dự đoán thời điểm xảy ra hư hỏng. Đây là mô hình dựa trên nguyên lý rằng hầu hết các thiết bị không hỏng đột ngột mà trải qua quá trình suy giảm dần về hiệu suất hoặc tính toàn vẹn cấu trúc, và khi giá trị một thông số vượt ngưỡng cho phép – thì khả năng hỏng hóc trở nên rất cao.

2.6.1 Nguyên lý hoạt động

Mô hình Degradation + Threshold hoạt động dựa trên việc:

- Liên tục theo dõi một hoặc nhiều thông số đo lường trạng thái thiết bị (như: nhiệt độ, độ rung, áp suất, dòng điện,...).
- Xác định mức ngưỡng (Threshold) – là giá trị tới hạn của thông số, mà khi vượt qua, thiết bị được xem là sắp hỏng hoặc mất an toàn.
- Dựa vào dữ liệu suy giảm theo thời gian (Degradation Trend) để ước lượng thời điểm vượt ngưỡng, từ đó dự đoán Remaining Useful Life (RUL) – thời gian còn lại trước khi thiết bị cần được thay thế hoặc sửa chữa.

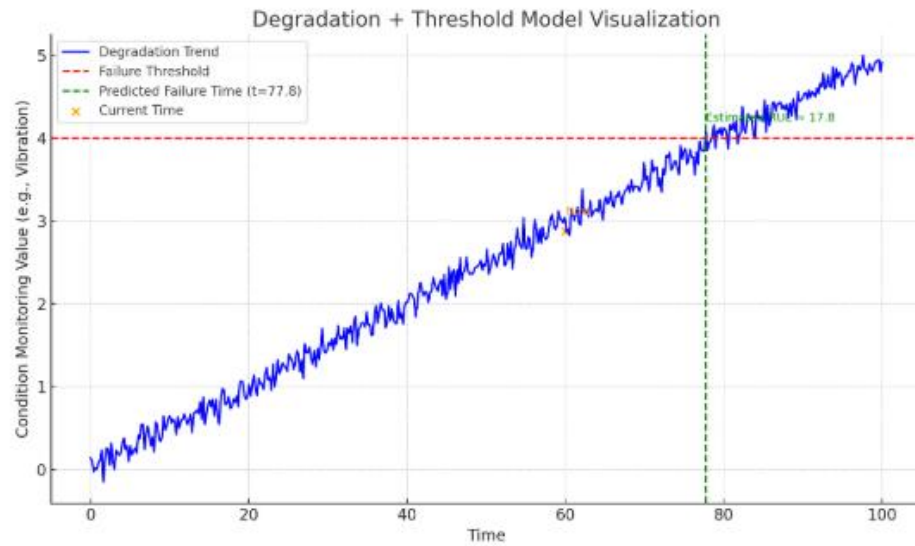
2.6.2 Biểu diễn mô hình

Biểu đồ suy giảm có dạng đường cong tăng dần (hoặc giảm dần, tùy biến) của một thông số đo được. Ngưỡng hư hỏng thường được biểu diễn bằng một đường ngang. Giao điểm giữa đường suy giảm và ngưỡng chính là dự báo thời điểm xảy ra hỏng hóc.

Giả sử $D(t)$ là hàm biểu diễn sự suy giảm của một thông số theo thời gian:

$$D(t_{fail}) = D_{th}$$

Biểu đồ minh họa mô hình Degradation + Threshold



Hình 2.1 Sơ đồ minh họa mô hình suy ngưỡng

CHƯƠNG 3 GIỚI THIỆU TỔNG QUAN VỀ CÔNG TY

3.1 Giới thiệu về công ty

3.1.1 Quá trình hình thành và phát triển

Công ty Cổ phần Than - Điện Nông Sơn - TKV là công ty con của Tổng Công ty Điện lực - TKV, thuộc Tập đoàn Công nghiệp Than - Khoáng sản Việt Nam (TKV). Công ty được thành lập vào ngày 23/05/2007 trên cơ sở hợp nhất Mỏ than Nông Sơn và Ban Quản lý Dự án Nhà máy Nhiệt điện Nông Sơn. Sau quá trình đầu tư, xây dựng và hoàn thiện, đến ngày 24/03/2015, dự án chính thức đi vào hoạt động sản xuất, đánh dấu bước chuyển mình quan trọng của công ty trong lĩnh vực khai thác than kết hợp sản xuất điện năng.

Nhờ sự quan tâm chỉ đạo sát sao của Tổng Công ty Điện lực - TKV và Tập đoàn TKV, cùng sự nỗ lực của đội ngũ cán bộ, kỹ sư và công nhân viên, nhà máy nhanh chóng vận hành ổn định, đảm bảo công suất phát điện đạt 30 MW theo đúng thiết kế.



Hình 3.1 Hình ảnh Công ty CP Than – Điện Nông Sơn

Không dừng lại ở đó, công ty không ngừng đổi mới công nghệ, đầu tư mua sắm thiết bị hiện đại theo hướng đồng bộ, bền vững. Đặc biệt, công ty ưu tiên sử dụng các thiết bị có chất lượng cao, tuổi thọ lớn từ các nước thuộc nhóm G7 nhằm nâng cao độ tin cậy của hệ thống, giảm thiểu sự cố kỹ thuật và kéo dài tuổi thọ của nhà máy. Bên cạnh đó, công ty chú trọng nghiên cứu, ứng dụng các sáng kiến cải tiến kỹ thuật, tối ưu hóa phương thức vận hành để nâng cao hiệu suất sản xuất, giảm tiêu hao nhiên liệu, tiết kiệm chi phí vận hành và nâng cao tính cạnh tranh trên thị trường năng lượng.

Ngoài ra, công ty cũng đặc biệt quan tâm đến công tác bảo vệ môi trường và an toàn lao động. Việc đầu tư vào hệ thống xử lý khí thải, tro xỉ, cũng như các giải pháp giảm thiểu tác động đến môi trường được triển khai đồng bộ, đảm bảo tuân thủ các tiêu chuẩn nghiêm ngặt về môi trường và an toàn sản xuất. Công ty luôn đặt mục tiêu phát triển bền vững, gắn kết giữa hiệu quả sản xuất kinh doanh với trách nhiệm xã hội và bảo vệ môi trường, hướng đến một mô hình doanh nghiệp hiện đại và tiên tiến trong ngành năng lượng Việt Nam.

3.1.2 Sản phẩm (Điện – Than)

Công ty Cổ phần Than - Điện Nông Sơn - TKV chuyên cung cấp hai sản phẩm chủ lực là than và điện, đóng vai trò quan trọng trong ngành năng lượng Việt Nam. Trong năm qua, công ty đã thực hiện bóc xức 600 nghìn mét khối đất đá, khai thác 125 nghìn tấn than nguyên khai, vượt kế hoạch đề ra. Sản lượng than tiêu thụ đạt 124,5 nghìn tấn đảm bảo nguồn cung ổn định cho các đơn vị sử dụng than trong khu vực.

Song song với hoạt động khai thác than, nhà máy nhiệt điện của công ty vận hành với công suất 30 MW, sản xuất 190.112 MWh điện thô và cung ứng 166.310 MWh điện thương phẩm. Nhờ áp dụng công nghệ lò hơi tầng sôi tuần hoàn (CFB) và hệ thống tự động hóa trong quản lý vận hành, công ty đã tối ưu hóa hiệu suất đốt cháy nhiên liệu, giảm tiêu hao than, góp phần nâng cao hiệu quả sản xuất điện.



Hình 3.2 Hoạt động khai thác than của Công ty CP Than – Điện Nông Sơn

Hiện nay, công ty có 305 lao động, trong đó 171 người thuộc khối sản xuất than và 134 người làm việc trong lĩnh vực sản xuất điện. Với nỗ lực không ngừng trong quản lý và vận hành. Với chiến lược phát triển bền vững, công ty không chỉ tập trung nâng cao hiệu

suất khai thác và sản xuất điện mà còn hướng đến mục tiêu bảo vệ môi trường, tối ưu hóa nguồn tài nguyên và đóng góp tích cực vào nền kinh tế địa phương.

3.1.3 Tầm nhìn – sứ mệnh của doanh nghiệp

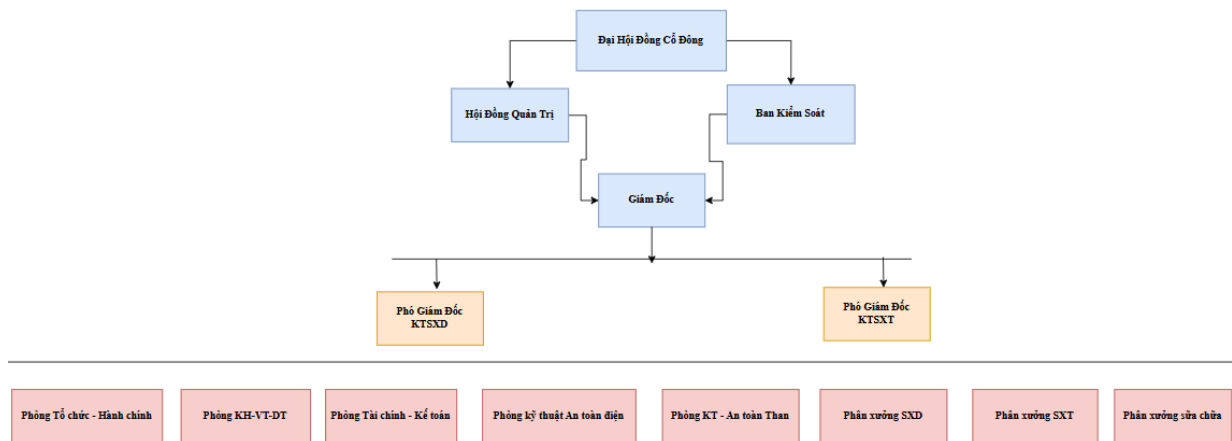
Tầm nhìn

Công ty CP Than - điện Nông Sơn – TKV hướng đến mục tiêu trở thành một trong những đơn vị sản xuất điện năng uy tín, an toàn và hiệu quả tại khu vực miền Trung, góp phần đảm bảo an ninh năng lượng quốc gia và phát triển bền vững ngành công nghiệp điện trên nền sản xuất than.

Sứ mệnh

- Sản xuất và cung cấp điện năng an toàn, liên tục và hiệu quả, đáp ứng nhu cầu phát triển kinh tế - xã hội của khu vực và cả nước.
- Tận dụng hiệu quả nguồn tài nguyên than nội địa, đặc biệt là than nhiệt trị thấp, góp phần vào chiến lược phát triển năng lượng quốc gia.
- Đảm bảo an toàn lao động, bảo vệ môi trường sinh thái và nâng cao đời sống vật chất, tinh thần cho người lao động.
- Không ngừng đổi mới, ứng dụng khoa học công nghệ tiên tiến trong quản lý và vận hành, hướng tới phát triển bền vững và hội nhập quốc tế.

3.1.4 Sơ đồ tổ chức của doanh nghiệp



Hình 3.3 Sơ đồ cơ cấu tổ chức Công ty CP Than – Điện Nông Sơn

Chức năng các bộ phận

1. Đại hội đồng cổ đông

- Là cơ quan có quyền quyết định cao nhất trong công ty.
- Thực hiện các quyền và nghĩa vụ theo quy định của pháp luật và điều lệ công ty.

- Quyết định chiến lược kinh doanh, phương án đầu tư, phân chia lợi nhuận, tổ chức lại hoặc giải thể công ty.

2. Hội đồng quản trị

- Là cơ quan quản lý công ty, chịu trách nhiệm trước cổ đông về hoạt động kinh doanh.
- Quyết định các vấn đề quan trọng liên quan đến định hướng phát triển, chính sách, tài chính và nhân sự cấp cao.
- Bổ nhiệm, miễn nhiệm Giám đốc, Phó Giám đốc và các chức danh quản lý quan trọng.

3. Ban kiểm soát

- Giám sát hoạt động của Hội đồng quản trị và Ban Giám đốc.
- Kiểm tra tính hợp pháp, hợp lệ của các báo cáo tài chính, báo cáo hoạt động của công ty.
- Đảm bảo quyền lợi của cổ đông và tính minh bạch trong quản lý.

4. Giám đốc

- Là người đứng đầu công ty, điều hành và chịu trách nhiệm chung về mọi hoạt động.
- Tổ chức thực hiện các quyết định của Hội đồng quản trị.
- Điều hành công tác sản xuất kinh doanh, tài chính, nhân sự, kỹ thuật và an toàn lao động.

5. Phó Giám đốc

- Phó Giám đốc KTVH (Nhà máy điện): Phụ trách hoạt động vận hành nhà máy điện, đảm bảo cung cấp điện ổn định và an toàn.
- Phó Giám đốc KTSX (Mỏ than): Quản lý và điều phối hoạt động khai thác than, đảm bảo hiệu suất và an toàn trong khai thác.

6. Các phòng ban khác

Phòng Tổ chức - Hành chính

- Quản lý nhân sự, lao động tiền lương.
- Đảm bảo công tác hành chính, văn thư, lưu trữ.
- Tổ chức đào tạo, bồi dưỡng nâng cao trình độ nhân viên.
- Thực hiện chế độ, chính sách cho người lao động.

Phòng KH-VT-ĐT (Kế hoạch - Vật tư - Đầu tư)

- Lập kế hoạch sản xuất kinh doanh.
- Quản lý cung ứng vật tư, thiết bị phục vụ sản xuất.

- Quản lý và triển khai các dự án đầu tư, nâng cấp công nghệ.

Phòng Tài chính - Kế toán

- Quản lý tài chính, lập báo cáo tài chính.
- Kiểm soát các khoản thu, chi và thanh toán.
- Lập kế hoạch tài chính, tính toán hiệu quả đầu tư.

Phòng Kỹ thuật An toàn Điện

- Giám sát, đảm bảo an toàn điện trong toàn bộ nhà máy.
- Kiểm tra và bảo dưỡng hệ thống điện.
- Đề xuất các biện pháp đảm bảo an toàn vận hành điện.

Phòng KT - An toàn Than

- Giám sát an toàn khai thác, vận chuyển và sử dụng than.
- Đảm bảo tiêu chuẩn an toàn lao động liên quan đến than.
- Kiểm tra chất lượng than đầu vào phục vụ sản xuất.

Phân xưởng SXĐ

- Vận hành hệ thống tuabin, phát điện.
- Kiểm soát hiệu suất và công suất phát điện.
- Đảm bảo thiết bị hoạt động ổn định, an toàn.

Phân xưởng SXT

- Quản lý khai thác và cung cấp than phục vụ sản xuất.
- Kiểm tra, phân loại và vận chuyển than đến các khu vực sử dụng.
- Đảm bảo than đạt chất lượng theo tiêu chuẩn vận hành lò hơi.

Phân xưởng sửa chữa

- Bảo trì, sửa chữa thiết bị cơ điện, tự động hóa trong nhà máy.
- Khắc phục sự cố, đảm bảo hoạt động liên tục của hệ thống.
- Kiểm tra, thay thế linh kiện theo kế hoạch bảo trì định kỳ.

3.2 Quy trình vận hành tổng thể nhà máy

Nhà máy nhiệt điện sử dụng công nghệ lò hơi tăng sôi tuần hoàn (CFB) với nhiên liệu chính là than antraxit – một loại than đá có nhiệt trị cao, hàm lượng carbon lớn, tro thấp nhưng khó bắt cháy. Than antraxit được vận chuyển đến nhà máy chủ yếu bằng đường bộ hoặc hệ thống băng tải, sau đó được phân phối vào các kho than và đưa đến các silo chứa than trong nhà năng lượng chính. Dầu DO được sử dụng để đốt khởi động, được lưu trữ

trong các bể chứa chuyên dụng có bọc cách nhiệt. Ngoài ra, đá vôi được vận chuyển bằng đường bộ và lưu trữ riêng, dùng trong quá trình khử lưu huỳnh phát sinh từ việc đốt than.

Trong giai đoạn khởi động, lò hơi được đốt nóng bằng dầu để đạt đến mức nhiệt cần thiết. Sau khi đạt khoảng 550°C , than antraxit bắt đầu được cấp vào buồng đốt bằng hệ thống cấp than, phối hợp với hệ thống không khí tầng sôi để duy trì quá trình cháy ổn định. Do đặc tính khó cháy của than antraxit, hệ thống tầng sôi tuần hoàn (CFB) phát huy ưu điểm nhờ khả năng duy trì nhiệt độ đồng đều, hỗ trợ quá trình đốt cháy hoàn toàn. Khi nhiệt độ buồng đốt đạt khoảng 800°C và cháy đã ổn định, quá trình đốt dầu được dừng hoàn toàn, chuyển sang đốt thuần than antraxit.

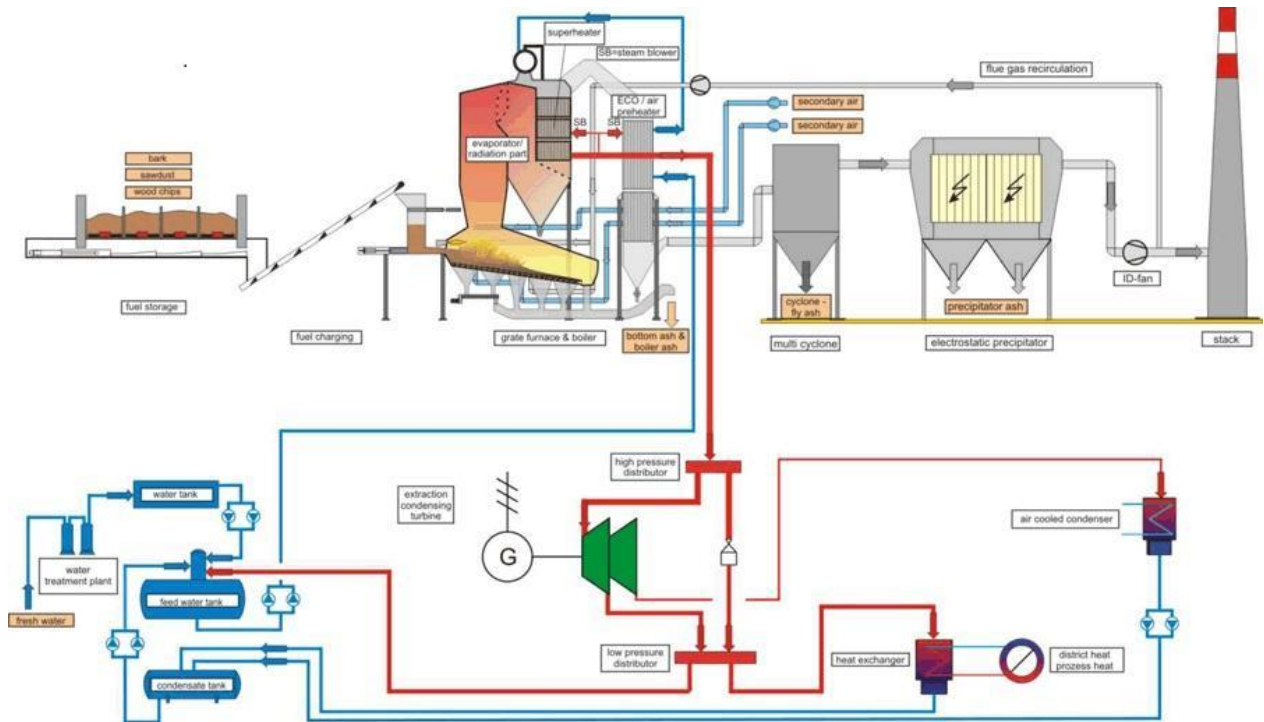
Nhiệt từ quá trình đốt than sẽ làm sôi nước trong lò hơi để tạo ra hơi quá nhiệt ở nhiệt độ và áp suất cao. Tại thời điểm này, cán bộ vận hành thực hiện cấp đá vôi theo tỉ lệ nhất định để khử lưu huỳnh phát sinh trong quá trình đốt than để đảm bảo đạt tiêu chuẩn môi trường. Một thành phần đóng vai trò then chốt là bộ cyclon thu hồi (cyclone separator), có chức năng thu hồi hạt nhiên liệu chưa cháy hết và bụi vật chất từ dòng khí nóng đi ra khỏi buồng đốt. Khi hỗn hợp khí cháy, tro bay và các hạt vật liệu (bao gồm than chưa cháy và đá vôi) thoát ra khỏi buồng đốt, chúng sẽ được dẫn qua cyclon nơi sử dụng lực ly tâm để tách các hạt rắn khỏi dòng khí. Dưới tác dụng của dòng xoáy tạo ra trong cyclone, các hạt vật chất bị văng ra thành bên và rơi xuống đáy cyclone, sau đó được đưa trở lại buồng đốt thông qua hệ thống tuần hoàn. Điều này giúp đảm bảo nhiên liệu được đốt triệt để hơn, nâng cao hiệu suất cháy và hiệu quả sử dụng đá vôi trong quá trình khử SO_2 . Đồng thời, việc tuần hoàn liên tục các hạt rắn cũng duy trì sự ổn định của tầng sôi, làm cho quá trình trao đổi nhiệt và phản ứng hóa học trong lò diễn ra đồng đều và hiệu quả hơn.

Sau đó hơi quá nhiệt từ lò hơi được dẫn đến tuabin hơi, giãn nở sinh công qua những tầng cánh của tuabin và làm quay tuabin. Tuabin quay rotor máy phát tạo ra điện và hoà vào mạng lưới điện quốc gia.

Hệ thống nước cấp sẽ được qua hệ thống xử lý nước cấp tại nhà máy để xử lý thành nước tinh khiết cấp cho lò hơi, hơi sau khi giãn nở trong tuabin được đưa vào bình ngưng để ngưng tụ. Hơi sau khi ngưng tụ được tiếp tục xử lý loại bỏ cặn bẩn, khoáng chất hoà tan trước khi bơm ngược trở lại lò hơi để lặp lại chu trình.

Quá trình đốt nguyên liệu trong buồng đốt lò hơi sẽ tạo ra khói thải chứa bụi, khí SO_2 (hàm lượng thấp), NO_x (hàm lượng thấp). Tất cả lượng khói thải sinh ra được thu gom, xử lý thích hợp khí thải qua bộ lọc bụi tĩnh điện ESP đảm bảo chất lượng khí thải đạt quy chuẩn hiện hành trước khi thải vào môi trường không khí xung quanh thông qua ống khói.

Bên cạnh đó, quá trình đốt nguyên liệu than cũng tạo ra tro bay và tro đáy được thu gom và lưu trữ tại bãi chứa xỉ và có thể được sử dụng làm nguyên liệu trong ngành công nghiệp xi măng, vật liệu san lấp.



Hình 3.4 Quy trình vận hành tổng thể của nhà máy

3.3 Các khu vực trong nhà máy

Nhà máy nhiệt điện than gồm có hai cụm thiết bị chính là cụm lò hơi để sản xuất ra hơi nước và cụm tuabin-máy phát để biến đổi nhiệt năng của dòng hơi thành điện năng.

3.3.1 Cụm Tuabin hơi

Tuabin hơi nước, hay còn gọi là động cơ hơi nước, là một thiết bị chuyển hóa năng lượng của hơi nước thành cơ năng, thông qua quá trình chuyển đổi từ thế năng sang động năng và cuối cùng là quay trục máy phát. Cấu tạo chính của tuabin bao gồm hệ thống cánh tuabin, trục tuabin, hệ thống vòng bi – bôi trơn, hệ thống ngưng tụ – hồi lưu nước và hệ thống điều khiển – bảo vệ.

Hệ thống cánh tuabin gồm hai phần chính là dãy cánh cố định (fixed blades hoặc nozzles) và dãy cánh quay (rotating blades). Dãy cánh cố định có nhiệm vụ dẫn hướng và tăng tốc dòng hơi nước, trong khi dãy cánh quay trực tiếp chịu tác động của hơi nước, truyền động năng để làm quay trục tuabin. Các dãy cánh này được bố trí theo cấp, tương ứng với mức áp suất hơi: tuabin cao áp (HP – High Pressure) tiếp nhận hơi có nhiệt độ và

áp suất cao (khoảng 540–600°C, 10–25 MPa); sau khi giãn nở, hơi nước tiếp tục đi vào tuabin trung áp (IP – Intermediate Pressure) và cuối cùng là tuabin hạ áp (LP – Low Pressure) nơi hơi có áp suất thấp hơn trước khi được dẫn ra ngoài để ngưng tụ.

Trục tuabin là bộ phận trung tâm liên kết các dãy cánh quay và truyền mô-men xoắn sinh ra từ quá trình giãn nở của hơi nước tới máy phát điện. Trục này được chế tạo từ vật liệu hợp kim chịu nhiệt cao để đảm bảo độ bền cơ học trong điều kiện làm việc khắc nghiệt. Để giảm ma sát và bảo vệ trục, hệ thống vòng bi và bôi trơn được thiết kế bao gồm các ổ đỡ trục (journal bearings) và ổ hướng trục (thrust bearings), kết hợp với dầu bôi trơn tuần hoàn liên tục.

Hệ thống ngưng tụ và hồi lưu nước đóng vai trò quan trọng trong việc hoàn thiện chu trình nhiệt. Hơi nước sau khi đi qua tuabin sẽ được dẫn vào bình ngưng (condenser) để làm nguội và chuyển thành nước ngưng. Lượng nước này sẽ được bơm ngược trở lại lò hơi thông qua bơm nước ngưng (condensate pump), tạo nên một vòng tuần hoàn khép kín, giúp tiết kiệm nước và nâng cao hiệu quả vận hành.

Cuối cùng, hệ thống điều khiển và bảo vệ đảm bảo hoạt động an toàn và ổn định của toàn bộ tuabin. Hệ thống này kiểm soát tốc độ quay, áp suất và lưu lượng hơi nước vào tuabin. Đồng thời, nó được trang bị các thiết bị bảo vệ như van an toàn và hệ thống dừng khẩn cấp (Emergency Trip System) để phòng ngừa các sự cố bất ngờ, tránh gây hỏng hóc nghiêm trọng cho thiết bị.

3.3.2 Cụm lò hơi

Cụm lò hơi tầng sôi tuần hoàn (CFB) tại Nhà máy Nhiệt điện Nông Sơn – TKV là trung tâm của quá trình biến đổi năng lượng từ nhiên liệu (than) thành nhiệt năng và sau đó thành điện năng. Hệ thống này bao gồm nhiều bộ phận liên hoàn, phối hợp chặt chẽ để đảm bảo hiệu suất cháy cao, vận hành ổn định và thân thiện với môi trường. Cấu trúc tổng thể của cụm lò hơi bao gồm các hệ thống chính như sau:

1. Hệ thống lò hơi

Đây là thành phần chính nơi diễn ra quá trình đốt cháy than trong môi trường tầng sôi tuần hoàn. Than được đưa vào buồng đốt cùng với đá vôi (CaCO_3) và được hòa trộn cùng dòng không khí để tạo lớp tầng sôi. Nhiệt độ trong buồng đốt được duy trì khoảng 850–900°C, đảm bảo quá trình cháy ổn định, giảm phát sinh NO_x và cho phép khử lưu huỳnh ngay trong buồng đốt. Hơi nước sinh ra từ nước cấp sẽ được dẫn qua các bộ phận quá nhiệt và gia nhiệt để đi đến tuabin.

2. Hệ thống khói gió

Hệ thống này chịu trách nhiệm cung cấp không khí cho quá trình cháy (gồm không khí sơ cấp và thứ cấp) và dẫn dòng khí thải (flue gas) ra khỏi lò. Các quạt cấp gió (FD Fan), quạt hút (ID Fan) và ống khói được thiết kế để kiểm soát lưu lượng, áp suất và nhiệt độ khí thải trong toàn hệ thống. Khí thải sẽ đi qua bộ thu hồi nhiệt, hệ thống xử lý bụi và khử ô nhiễm trước khi xả ra môi trường.

3. Hệ thống cấp than

Than được nghiền và vận chuyển bằng băng tải đến các phễu chứa, sau đó được định lượng và cấp vào lò hơi theo tải yêu cầu. Hệ thống này bao gồm các thiết bị như máy nghiền than, băng tải cấp than, phễu trung gian và van cấp liệu. Việc cấp than đều đặn, ổn định là yếu tố quan trọng ảnh hưởng đến hiệu suất cháy và tính liên tục của toàn bộ tổ máy.

4. Hệ thống lọc bụi tĩnh điện ESP

Khí thải sau quá trình đốt vẫn chứa lượng lớn tro bay (fly ash). Hệ thống lọc bụi tĩnh điện (ESP) được lắp đặt sau lò hơi có nhiệm vụ thu hồi bụi mịn trước khi khí thải ra môi trường. Dưới tác dụng của điện trường cao thế, các hạt bụi mang điện tích sẽ bám vào bản cực và được thu hồi định kỳ bằng hệ thống rung rũ. Đây là giải pháp hiệu quả để giảm phát thải bụi, đảm bảo tuân thủ quy định môi trường.

5. Hệ thống thải xỉ tro đáy

Tro đáy sinh ra từ quá trình cháy sẽ lắng xuống đáy buồng đốt. Hệ thống thải xỉ được thiết kế để thu gom, làm nguội và vận chuyển tro đáy ra ngoài bằng vít tải, băng tải hoặc xả thủy lực. Tro xỉ sau khi thu hồi có thể được xử lý, tận dụng hoặc chôn lấp tùy theo thành phần hóa học và mức độ ô nhiễm.

6. Hệ thống thổi bụi

Tro bụi và muối bám trên các bề mặt truyền nhiệt (như dàn ống quá nhiệt, gia nhiệt) sẽ làm giảm hiệu suất trao đổi nhiệt của lò. Hệ thống thổi bụi định kỳ sử dụng hơi nước hoặc khí nén áp lực cao để làm sạch các bề mặt này, giúp duy trì hiệu quả truyền nhiệt và kéo dài tuổi thọ thiết bị. Hệ thống hoạt động tự động theo lịch trình hoặc theo tín hiệu đo được từ cảm biến hiệu suất.

3.4 Quy trình vận hành cụm lò hơi



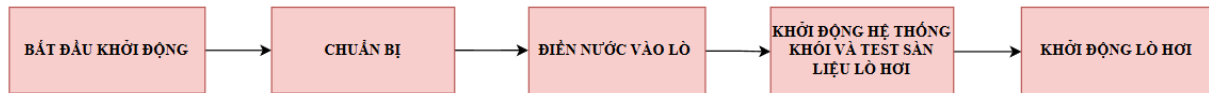
Hình 3.5 Sơ đồ quy trình vận hành cụm lò hơi

3.4.1 Khởi động lò hơi

Thông số khởi động của lò hơi

+ Nhiệt độ vách bao hơi < 100C

+ Nhiệt độ sản liệu < 750C



Hình 3.6 Sơ đồ quy trình khởi động lò hơi

Diễn giải quy trình

Bước 1: Vào liệu lò hơi

Liệu dùng cho lò hơi thông thường là xỉ đáy của nhà máy, hàm lượng Cacbon chưa cháy hết trong xỉ đáy nên nhỏ hơn $\leq 9\%$ là tốt nhất. Kích cỡ và thành phần của liệu cấp cho lò hơi.

+ Kích thước hạt: 2mm + 8mm.

+ Hàm lượng Na₂O < (1~2) % và K₂O < (2~3) %.

Bước 2: Các bước chuẩn bị kiểm tra

- Bước 1: Trưởng ca, trưởng kíp lò máy báo cho các bộ phận liên quan
- Bước 2: Tiến hành kiểm tra các thiết bị bên lò
- Bước 3: Kiểm tra hệ thống ngoài lò
- Bước 4: Ghi lại tất cả các thông số vào sổ, thông báo cho các bộ phận sửa chữa khắc phục kiểm tra nếu như có sai sót.

Bước 3: Điền nước vào lò hơi

Có 2 cách điền nước cho lò hơi

- Phương pháp cấp nước bằng bơm nước cấp: Bơm nước cấp -> Đường đi tắt qua các bình gia nhiệt cao áp -> Đài nước cấp -> Bộ hâm -> Bao hơi. (Phương pháp này được sử dụng trong trường hợp độ chênh nhiệt độ giữa nhiệt độ vách bao hơi và nhiệt độ nước cấp trong phạm vi cho phép $\leq 50^{\circ}\text{C}$ và trường hợp trong hệ thống dàn ống sinh hơi vẫn còn nước).
- Phương pháp cấp nước theo bơm bổ sung (bơm nước động): Bơm nước bổ sung > Hệ thống các van xả định kỳ -> ống góp dưới các dàn ống sinh hơi -> Dàn ống sinh hơi -> Bao hơi. (Phương pháp này áp lực bao hơi $\leq 0.8 \text{ MPa}$ và trong trường hợp độ

chênh nhiệt độ nước cấp và nhiệt độ vách bao hơi không vượt quá giá trị cho phép 50°C).

Bước 4: Khởi động hệ thống khói gió và test sần liệu lò hơi

Chuẩn bị 1 cây gậy dài khoảng 3m, đường kính khoảng 35mm để phục vụ Test sần. Khởi động hệ thống khói gió và cân bằng hệ thống. Chọn lưu lượng gió sơ cấp ban đầu để Test sần là 48km³/h, mở cửa kiểm tra độ sôi của sần liệu. Tùy theo độ sôi thực tế của sần liệu mà quyết định tăng thêm hay không tăng lưu lượng gió sơ cấp, cho đến khi sần sôi đều bằng cách nhấc gậy lên xuống không nặng tay, không bị liệu đề.

Test kiểm tra độ phẳng của sần liệu: Đánh sập gió sơ cấp, dừng quạt khói đồng thời. Mở cửa kiểm tra độ phẳng của sần liệu. Nếu sần không đạt độ phẳng thì tăng thêm gió sơ cấp để Test sần lại, nếu lưu lượng gió đã đạt trên 50km³/h mà sần không sôi tốt và phẳng thì kiểm tra lại hệ thống từng nắm gió có bị bịt lỗ gió hay không. Khắc phục các điều kiện trên để chắc chắn rằng sần liệu đã sôi đều và sẵn sàng khởi động lò hơi.

Bước 5: Khởi động lò hơi

Sau khi đã Test sần xong thì tiến hành đóng cửa buồng lửa, chuẩn bị khởi động lò hơi. Khởi động hệ thống khói gió và cân bằng hệ thống theo thông số đã Test sần vừa xong.

Châm lửa lò hơi:

- + Kiểm tra hệ thống khí nén và các van dầu vào 2 vòi dầu đã sẵn sàng.
- + Đánh lửa vòi dầu số 1: duy trì tốc độ tăng nhiệt độ < 100°C/h
- + Khi vòi dầu số 1 cháy ổn định thì tiếp tục đánh lửa vòi dầu số 2, duy trì tốc độ tăng nhiệt độ < 100°C/h.

Duy trì sự cháy của 2 vòi dầu ổn định.

3.4.2 Giám sát và điều chỉnh lò hơi trong thời gian vận hành

- a. Điều chỉnh phụ tải lò hơi
- b. Điều chỉnh nhiệt độ và áp lực sần liệu
- c. Điều chỉnh áp suất và nhiệt độ hơi quá nhiệt
- d. Điều chỉnh mức nước bao hơi
- e. Xả cặn lò hơi
- f. Thổi bụi lò hơi

3.4.3 Dừng lò hơi

Sau khi nhận được mệnh lệnh dừng lò của trưởng ca, Trưởng kíp lò máy thông báo cho các nhân viên nắm vị trí các bên điện, Tuabin, nhiên liệu, hoá, C&I, thải tro bay và vận

hành lò cần dừng, mỗi người tự làm tốt công việc của mình. Kiểm tra toàn bộ lò hơi trước khi dừng lò. Ghi lại các khiếm khuyết, hư hỏng của lò.

Thổi bụi toàn diện trước khi dừng lò. Xả lò định kỳ trước khi dừng lò. Dừng hệ thống phun giảm ôn trước khi dừng lò. Khi dừng lò để sửa chữa hoặc dừng lò trong thời gian dài, các phễu than và đá vôi cần được tiêu thụ hết trước khi dừng lò.

3.4.4 Làm mát lò sau khi dừng

a. Làm mát thông thường

- Trong thời gian dừng lò 4 ~ 6h phải đóng chặt tất cả các van đường khói, gió.
- Sau 4 ~ 6h có thể mở tấm tiết lưu gió khói rồi thông gió từ từ, và tiến hành cấp nước, xả nước bắt buộc.
- Sau 8 ~ 10h tái cấp nước và xả nước 1 lần.
- Sau 18 ~ 24h áp lực bao hơi giảm xuống dưới 0,5 ~ 0,8MPa, nhiệt độ nước của lò hơi $\leq 800^{\circ}\text{C}$, có thể xả hết nước lò hơi để thay nước mới. Khi áp lực thấp hơn 0,2MPa, mở van xả khí bao hơi và van xả động của bộ quá nhiệt.
- Dừng lò từ 5 ngày trở lên phải thải sàl liệu ra, có thể thu lại các hạt tương đối nhỏ của sàl liệu để làm đầy sàl liệu khi châm lửa lại.
- Sau khi dừng lò phải ghi chép các vấn đề được phát hiện và thao tác chính của quá trình dừng lò và làm mát vào nhật ký vận hành.

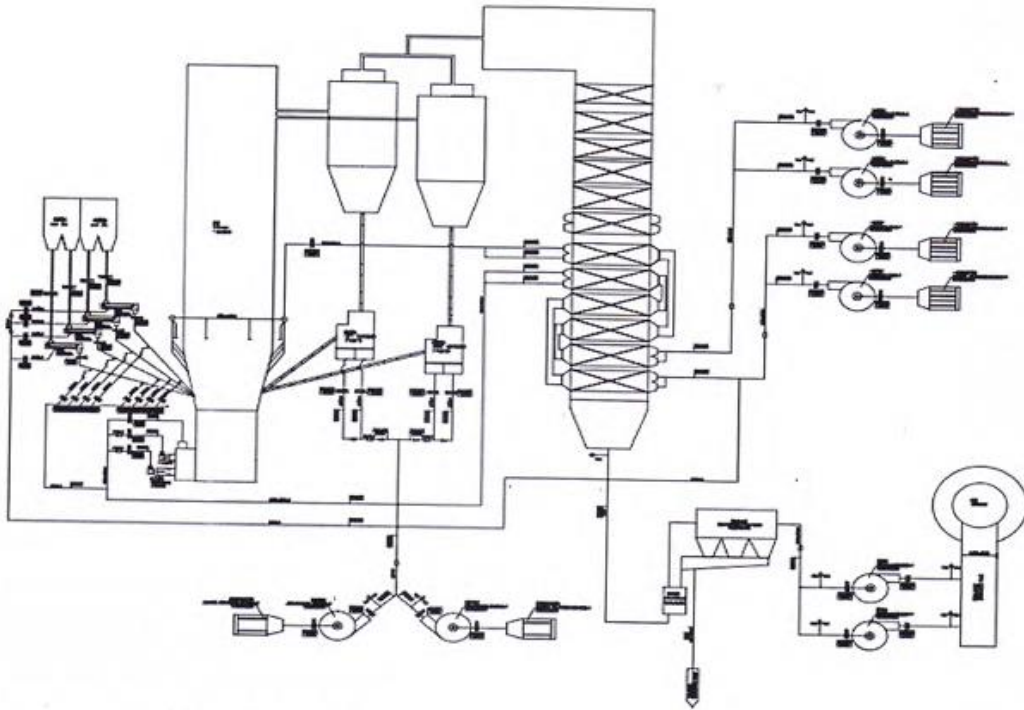
b. Làm mát khẩn cấp

- Sau khi dừng lò 8 ~ 10h phải tăng số lần xả và cấp nước một cách thích hợp.
- Khi nhiệt độ sàl giảm xuống đến 400°C , khởi động hệ thống khói gió tiến hành làm mát cưỡng bức đối với lò hơi, độ mở của tấm tiết lưu gió không được quá lớn, khống chế tốc độ giảm nhiệt độ $1000^{\circ}\text{C}/\text{h}$ trở xuống. Khi nhiệt độ sàl giảm xuống đến 1500°C , dừng quạt cấp 1, quạt cấp 2 và quạt cao áp, mở lỗ người chui ở phần dưới tường lò, căn cứ vào tốc độ giảm nhiệt độ có thể điều chỉnh giá trị áp âm của buồng lửa một cách thích hợp.
- Khi nhiệt độ trong lò giảm đến 600°C trở xuống, dừng quạt khói.
- Căn cứ nhiệt độ sàl thực tế, có thể chỉ dùng 1 quạt khói để làm mát lò.
- Trong quá trình làm mát sự chênh lệch nhiệt độ của vách trên và dưới bao hơi không được vượt quá 500°C .
- Các thao tác khác làm bình thường như làm mát thông thường.

3.5 Nguyên lý cấu tạo của các hệ thống khu vực cụm lò hơi

3.5.1 Hệ thống lò hơi tầng sôi tuần hoàn CFB

a. Sơ đồ nguyên lý



Hình 3.7 Sơ đồ cấu tạo của hệ thống lò hơi

b. Nguyên lý và thông số kỹ thuật của lò hơi

Lò hơi trong các nhà máy nhiệt điện, hơi được sản xuất ra là hơi quá nhiệt. Hơi quá nhiệt nhận được nhờ quá trình: đốt cháy nhiên liệu (than, dầu, ...) để đun nóng nước đến nhiệt độ sôi, sôi để biến nước thành hơi bão hòa và quá nhiệt hơi để biến hơi bão hòa thành hơi quá nhiệt có nhiệt độ cao trong các bộ phận của lò hơi. Công suất của lò hơi phụ thuộc vào lưu lượng, nhiệt độ và áp suất hơi. Các giá trị này càng cao thì công suất lò càng lớn.

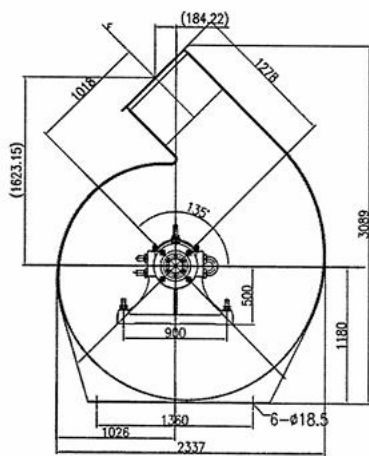
Nhiên liệu và không khí được phun vào lò, tạo thành hỗn hợp cháy và được đốt cháy trong buồng lửa, nhiệt độ ngọn lửa đạt tới 890°C . Nhiệt lượng tỏa ra khi nhiên liệu cháy truyền cho nước trong dàn ống sinh hơi, nước tăng đến nhiệt độ sôi, biến thành hơi bão hòa. Hơi bão hòa theo ống sinh hơi đi lên, tập trung vào bao hơi. Trong bao hơi, hơi được phân ly ra khỏi nước, nước tiếp tục đi xuống theo ống sang tường lò để tiếp tục nhận nhiệt. Hơi bão hòa từ bao hơi sẽ đi qua ống góp vào các ống bộ quá nhiệt. Ở bộ quá nhiệt, hơi bão hòa chuyển động trong các ống xoắn sẽ nhận nhiệt từ khói nóng chuyển động phía ngoài ống để biến thành hơi quá nhiệt có nhiệt độ cao hơn và đi vào ống góp để sang tua bin và biến đổi nhiệt năng thành cơ năng làm quay tua bin.

Bảng 3.1 Thông số kỹ thuật của hệ thống lò hơi CFB

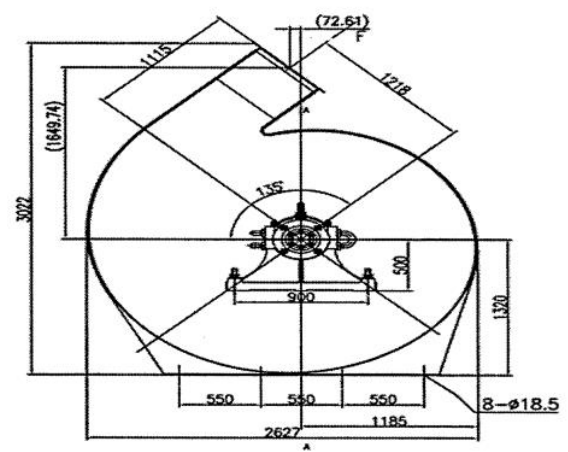
STT	Tên Thiết Bị	Đặc tính kỹ thuật	Số lượng
1	Lò hơi	1. Model: YG-130/9.8-M8 2. Chủng loại lò hơi: Lò tầng sôi tuần hoàn 3. Lưu lượng hơi: 130 tấn/h 4. Nhiệt độ hơi quá nhiệt: 540°C 5. Áp lực hơi quá nhiệt: 9.81 Mpa 6. Tổng than đốt: 20 tấn/h 7. Nhiệt độ nước cấp 225 °C 8. Hiệu suất lò: 86.5% 9. Hiệu suất khử lưu huỳnh: 85% 10. Cyclone hồi liệu: 2 cái	1
2	Kích thước	1. Chiều cao 40m 2. Kích thước buồng lửa 3850 x 7800 x 35600 mm	

3.5.2 Hệ thống khói gió

a. Sơ đồ nguyên lý



Hình 3.8 Cấu tạo khói gió sơ cấp



Hình 3.9 Cấu tạo khói gió thứ cấp

b. Nguyên lý và thông số kỹ thuật

Duy trì quá trình cháy bên trong buồng lửa lò hơi CFB trong quá trình khởi động và vận hành bình thường với lượng gió yêu cầu cho việc tạo tầng lỏng, chèn kín, làm mát, vận chuyển than, đá vôi, cung cấp oxy cho quá trình cháy. Tổng lượng gió cấp vào buồng lửa lò hơi CFB bao gồm gió cấp 1, gió cấp 2 và gió cao áp.

Làm giảm nhiệt độ khói đến nhiệt độ yêu cầu khi đi qua bộ sấy không khí và ngăn chặn việc ngưng tụ ở bộ sấy không khí khi nhiệt độ của khói giảm thấp hơn nhiệt độ đọng sương.

Cung cấp oxy cho hệ thống dầu khởi động trong suốt quá trình khởi động với lượng gió cháy theo yêu cầu.

Vận chuyển khói từ trong buồng lửa qua bề mặt đốt phân đuôi, qua bộ lọc bụi tĩnh điện và đi vào ống khói. Bên cạnh đó, quạt khói còn có nhiệm vụ điều chỉnh áp suất buồng lửa của lò hơi.

Làm sạch lò hơi trước khi thực hiện đánh lửa cho vòi phun khởi động, làm mát nhanh buồng lửa lò hơi CFB trong trường hợp dừng nhanh lò phục vụ cho công tác sửa chữa.

Bảng 3.2 Thông số kỹ thuật của hệ thống khói gió

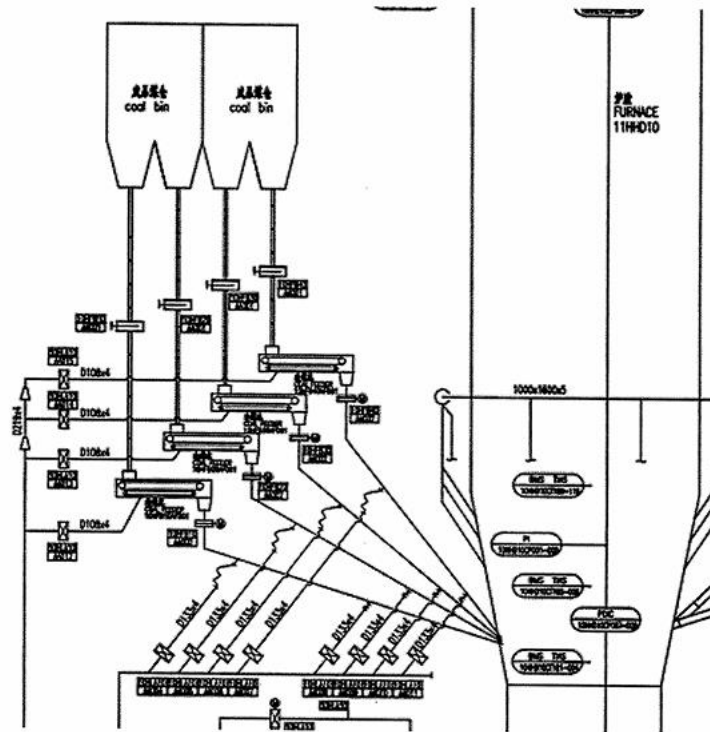
Hạng mục	Thông số kỹ thuật	Số lượng
Khói gió sơ cấp	Model: 9-26N14.2D	2
	Nhiệt độ môi chất: 20°C	
	Lưu lượng: 50000 m ³ /h	
	Tổng áp lực của quạt: 11000 Pa	
	Tốc độ của trục chính: 1450 r/min	
	Nhiệt độ nước làm mát: 28-31	
	Áp lực nước làm mát: ~0.3 Mpa	
	Lưu lượng nước làm mát: 2-3 L/min	
	KKS: 10HLB10AN001	

Hạng mục	Thông số kỹ thuật	Số lượng
Khói gió thứ cấp	Model: 9-26N14.2D	2
	Lưu lượng: 40000 m ³ /h	
	Áp lực đầu đẩy: 8000Pa	
	Tốc độ: 990r/min	

Dòng điện: 292,3 A
Điện áp: 380V-50Hz
Công suất: 160kW
Hiệu suất: 84%
KKS: 10HLB10AN001

3.5.3 Hệ thống cấp than vào lò

a. Sơ đồ hệ thống cấp than



Hình 3.10 Sơ đồ cấu tạo hệ thống cấp than vào lò

b. Nguyên lý và thông số kỹ thuật

Than được nghiền và vận chuyển bằng băng tải đến các phễu chứa, sau đó được định lượng và cấp vào lò hơi theo tải yêu cầu. Hệ thống này bao gồm các thiết bị như máy nghiền than, băng tải cấp than, phễu trung gian và van cấp liệu. Việc cấp than đều đặn, ổn định là yếu tố quan trọng ảnh hưởng đến hiệu suất cháy và tính liên tục của toàn bộ tổ máy

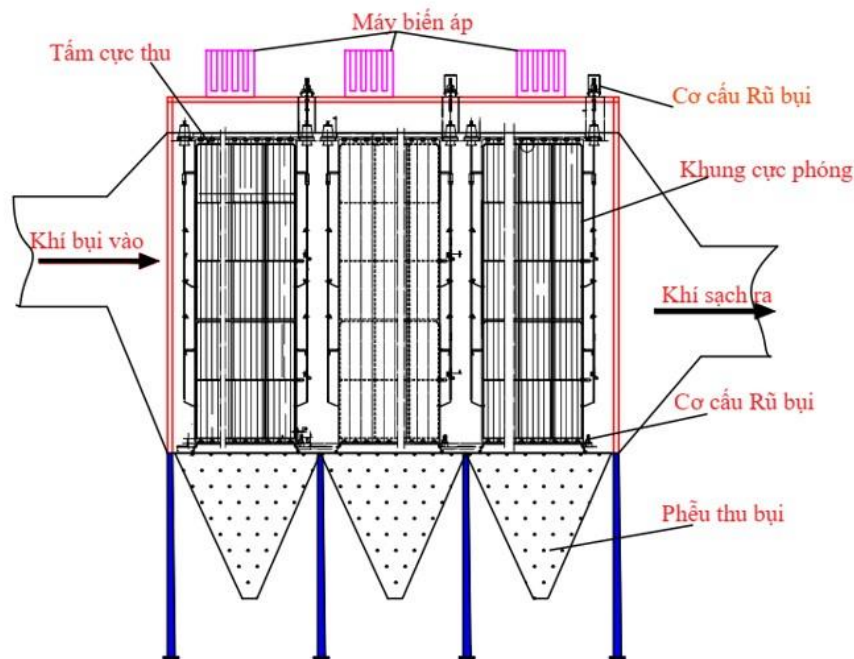
Bảng 3.3 Thông số kỹ thuật của hệ thống cấp than

Hạng mục	Đơn vị	Số lượng
Máy cấp	Máy	04

Công suất điện	KW	3
Dòng điện	V	380
Hộp giảm tốc		
Kiểu	SD – D75	
Công suất	KW	3
Băng tải máy cấp than		
Công suất băng tải	tấn/h	40

3.5.4 Hệ thống lọc bụi tĩnh điện ESP

a. Sơ đồ hệ thống



Hình 3.11 Sơ đồ cấu tạo hệ thống lọc bụi tĩnh điện ESP

b. Chức năng và thông số kỹ thuật

Nguồn điện cung cấp cho ESP được điều chỉnh điện áp hạ thế sơ cấp bởi thyristor qua máy biến áp chỉnh lưu cấp cho cực lắng và cực phóng dòng điện 1 chiều cao áp. Cực lắng được nối với đất và nối với cực dương nguồn điện, cực phóng được nối với cực âm nguồn điện và được cách điện với vỏ ESP tỷ số điện áp sơ cấp và thứ cấp được điều chỉnh bởi bộ điều khiển EPIC-III, thyristor được điều khiển bởi bộ vi điều khiển, toàn bộ điều khiển ESP được thực hiện bởi EPIC-III, giữa cực phóng và cực lắng 1 dòng điện 1 chiều với điện áp cao tạo ra trường tĩnh điện, khói đi từ đầu vào và đầu ra khi đi qua trường tĩnh điện cao áp,

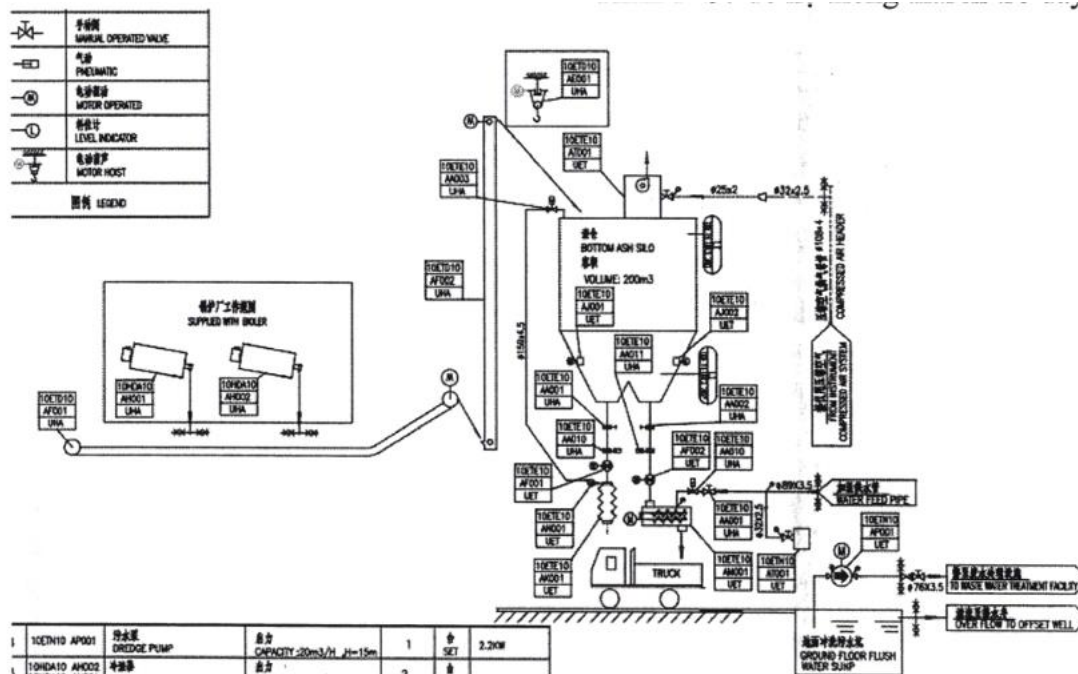
các hạt bụi sẽ bị tích điện do bị va chạm với các ion dương, ion âm và các electron hoặc sẽ bị tích điện trong chuyển động phân tán ion. Sau đó, các hạt mang cả electron và ion sẽ chuyển động dưới tác động của điện trường nó tích tụ trên các điện cực của cực mang điện tích trái dấu.

Bảng 3.4 thông số kỹ thuật của hệ thống lọc bụi tĩnh điện ESP

Hệ thống lọc bụi tĩnh điện ESP	
Lưu lượng khói	230705 m ³ /h
Nhiệt độ khói	> 140
Áp lực khí	-6.0 *10 ⁴
Khoảng cách bảng cực	400mm
Hàm lượng bụi đầu vào	105 Kg/Nm ³
Tổn thất áp suất khi qua ESP	> 400 Pa
Hiệu quả thu bụi	99.8%
Dòng điện và điện áp	1,2A / 72KV

3.5.5 Hệ thống thải xỉ tro đáy

a. Sơ đồ hệ thống



Hình 3.12 Sơ đồ cấu tạo hệ thống thải xỉ tro đáy

b. Chức năng và thông số kỹ thuật

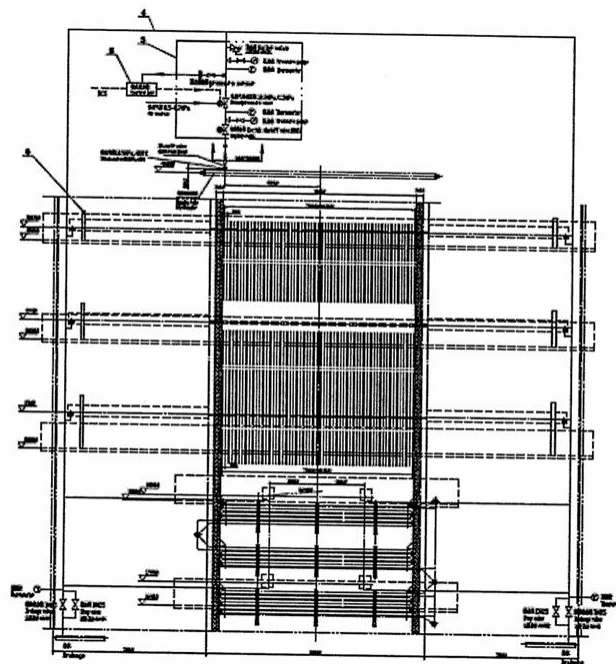
Hệ thống thải xỉ tro đáy có chức năng điều tiết, duy trì sự vận hành ổn định áp lực của buồng lửa lò hơi. Bên cạnh đó hệ thống thải xỉ tro đáy còn có nhiệm vụ vận chuyển xỉ ra bãi thải của nhà máy.

Bảng 3.5 Thông số kỹ thuật của hệ thống thải xỉ tro đáy

Hạng mục	Đơn vị	Số lượng
Model	HBSL-IV	
Phương thức điều chỉnh	Điều chỉnh tốc độ bằng biến tần	
Bộ làm mát xỉ		2
Công suất tải xỉ	t/h	0–8
Nhiệt độ nước làm mát đầu vào	°C	≤45
Nhiệt độ nước làm mát đầu ra	°C	≤95
Áp lực nước làm mát	MPa	≤1.6
Lưu lượng nước làm mát	t/h	5
Nhiệt độ xỉ vào	°C	≤1000
Nhiệt độ xỉ ra	°C	≤100
Tốc độ thùng quay	r/min	0–2

3.5.6 Hệ thống thổi bụi

a. Sơ đồ hệ thống



Hình 3.13 Sơ đồ cấu tạo hệ thống thổi bụi

b. Nguyên lý và thông số kỹ thuật

Hệ thống thổi bụi gồm 10 bộ. 02 bộ được bố trí tại bộ quá nhiệt cấp 3, 04 bộ được bố trí tại bộ quá nhiệt cấp 1, 04 bộ bố trí tại bộ hâm nước. Hệ thống thổi bụi có tác dụng thổi bụi bám trên bề mặt trao đổi nhiệt của các bộ quá nhiệt, bộ hâm, bộ sấy không khí nhằm nâng cao hiệu suất trao đổi nhiệt. Lượng hơi dùng cho thổi bụi được lấy từ ống góp hơi tự dùng của nhà máy và đầu ra của bộ quá nhiệt cấp 2.

Nguyên lý hoạt động: Khi có tín hiệu đưa 1 bộ thổi bụi vào hoạt động, cơ cấu truyền động đưa ống dẫn hơi di chuyển vào trong đường khói. Sau khi ống dẫn hơi di chuyển được một quãng đường nhất định, cơ cấu đóng mở van cấp hơi tác động mở van cấp hơi, cấp hơi thổi bụi qua ống cấp hơi → ống dẫn hơi → miệng phun → đến vị trí cần thổi bụi. Ống dẫn hơi tiếp tục di chuyển vào trong đường khói đến khi công tắc hành trình tác động, bộ thổi bụi được đưa trở về vị trí ban đầu, kết thúc chu trình thổi bụi.

Bảng 3.6 Thông số hệ thống thổi bụi

Hạng mục	Đơn vị	Số lượng / Giá trị
Vòi thổi bụi quay	Cái	04
Vị trí		Bộ hâm nước
Chiều dài vòi	m	3.1
Góc quay	°	360°
Giới hạn nhiệt độ làm việc của vật liệu	°C	≤600
Vòi thổi bụi tịnh tiến vào ra và quay 360°		
Vòi thổi bụi tịnh tiến quay	Cái	06
Vị trí		Bộ hâm nước
Chiều dài vòi	m	4.4
Góc quay	°	360°
Giới hạn nhiệt độ làm việc của vật liệu	°C	≤900

3.6 Đánh giá thực trạng bảo trì tại nhà máy

3.6.1 Thời gian vận hành của nhà máy

Trong một năm, nhà máy được vận hành liên tục theo chế độ tải cơ bản nhằm đáp ứng nhu cầu điện năng cho hệ thống lưới điện quốc gia. Thời gian vận hành trung bình trong

năm theo lý thuyết 6500 giờ với hoạt động gần như 24/7. Trong quá trình này, công tác bảo dưỡng định kỳ được thực hiện theo chu kỳ giờ vận hành nhằm đảm bảo độ ổn định và an toàn của thiết bị. Cụ thể như bảng sau đây:

Bảng 3.7 Thời gian vận hành sửa chữa bảo dưỡng tại nhà máy

STT	Cấp sửa chữa	Kí hiệu	Chu kỳ thực hiện	Thời gian dừng để SCBD	Đơn vị thực hiện
1	Bảo dưỡng hằng ca	BDHC	8 giờ	15 phút	PXSXD
2	Bảo dưỡng 1	BD1	1.625 giờ (3 tháng)	4 giờ	Đơn vị SC
3	Bảo dưỡng 2	BD2	3.250 giờ (6 tháng)	2 ngày	Đơn vị SC
4	Bảo dưỡng 3	BD3	6.500 giờ (năm)	5 ngày	Đơn vị SC

- Bảo dưỡng hằng ca là bảo dưỡng được diễn ra hàng ngày/ca, thường vào lúc đầu giờ làm việc. Ví dụ: Kiểm tra thông số vận hành, mức dầu động cơ, thủy lực, nhiên liệu, nước làm mát; kiểm tra các chỗ rò rỉ dầu ở hộp số, cầu..., bơm mỡ, tra dầu vào các vị trí.
- Mỗi 1.625 giờ vận hành hoặc khoảng 3 tháng, nhà máy tiến hành bảo dưỡng cấp 1 (BD1), chủ yếu là kiểm tra, hiệu chỉnh và làm sạch các bộ phận cơ bản. Thời gian bảo dưỡng 4 giờ.
- Tiếp theo, sau mỗi 3.250 giờ hoặc khoảng 6 tháng, sẽ thực hiện bảo dưỡng cấp 2 (BD2) với nội dung kiểm tra sâu hơn và thay thế các bộ phận có dấu hiệu hao mòn. Thời gian bảo dưỡng 2 ngày.
- Cuối cùng, sau 6.500 giờ vận hành hoặc định kỳ hàng năm, nhà máy sẽ thực hiện bảo dưỡng cấp 3 (BD3), là đợt bảo trì tổng thể và toàn diện. Việc tuân thủ lịch bảo dưỡng này giúp đảm bảo hiệu suất vận hành, kéo dài tuổi thọ thiết bị và hạn chế sự cố không mong muốn. Thời gian bảo dưỡng 5 ngày.

Bảng 3.8 Tổng thời gian sửa chữa bảo dưỡng trong năm

STT	Tháng	Hoạt động bảo dưỡng	Thời gian (giờ)	Tổng thời gian bảo dưỡng trong năm
1	3	Bảo dưỡng 1	4 giờ	176 giờ
2	6	Bảo dưỡng 1 + 2	48 giờ	
3	9	Bảo dưỡng 1	4 giờ	

4	12	Bảo dưỡng 1+2+3	120 giờ	
---	----	-----------------	---------	--

3.6.2 Thống kê số lượng và tình trạng của các hệ thống trong nhà máy

Bảng 3.9 Tần suất hư hỏng và thời gian dừng máy trong năm 2024

Đơn vị: Giờ

STT	Tên hệ thống	Số lần hư hỏng	Thời gian ngừng máy không theo kế hoạch (giờ)	Thời gian trung bình mỗi lần hư hỏng (giờ)
1	Hệ thống lò hơi	48	712	14,83
2	Hệ thống khói gió	27	514	19,04
3	Hệ thống cấp than	19	318	16,74
4	Hệ thống lọc bụi tĩnh điện ESP	16	216	13,50
5	Hệ thống thải xỉ tro đáy	33	645	19,55
6	Hệ thống thổi bụi	13	199	15,31

Bảng 3.10 Thống kê thời gian hoạt động thực tế và kế hoạch trong năm 2024

Đơn vị: Giờ

STT	Hệ thống	Thời gian hoạt động theo lý thuyết	Thời gian ngừng máy theo kế hoạch	Thời gian ngừng máy không theo kế hoạch	Tổng thời gian dừng máy	Thời gian làm việc thực tế
1	Hệ thống lò hơi	6500	176	712	888	5612
2	Hệ thống khói gió	6500	176	514	690	5810
3	Hệ thống cấp than	6500	176	318	494	6006
4	Hệ thống lọc bụi tĩnh điện ESP	6500	176	216	392	6108

5	Hệ thống thải xỉ tro đáy	6500	176	645	821	5679
6	Hệ thống thổi bụi	6500	176	199	375	6125

3.6.2.1 Các chỉ tiêu cần đánh giá

Ở phần này sẽ thực hiện đánh giá tình trạng của hệ thống với các yếu tố như sau

a. Tỷ lệ hư hỏng của hệ thống

Tỷ lệ hư hỏng (λ) được tính bằng thương của số lần xảy ra hư hỏng trên số thời gian máy hoạt động, trong đó thời gian máy hoạt động được tính bằng hiệu số giữa thời gian làm việc và thời gian dừng máy.

$$\lambda = n/Thđ \text{ (lần/giờ)}$$

Bảng 3.11 Tỷ lệ hư hỏng của từng hệ thống

STT	Tên hệ thống	Số lần hư hỏng	Thời gian hoạt động thực tế (giờ)	Tỷ lệ hư hỏng (%)
1	Hệ thống lò hơi	48	5612	0,00855
2	Hệ thống khói gió	27	5810	0,00465
3	Hệ thống cấp than	19	6006	0,00316
4	Hệ thống lọc bụi tĩnh điện ESP	16	6108	0,00262
5	Hệ thống thải xỉ tro đáy	33	5679	0,00581
6	Hệ thống thổi bụi	13	6125	0,00212

b. Thời gian trung bình giữa các lần hư hỏng

Thời gian trung bình giữa các lần hư hỏng của máy (MTBF) là chỉ số đánh giá khoảng thời gian giữa 2 lần liên tiếp hệ thống xảy ra hư hỏng, chỉ số này càng thấp thì khả năng xảy ra hư hỏng càng lớn và ngược lại. Số liệu chi tiết được mô tả trong bảng dưới đây.

MTBF được tính bằng thương số giữa thời gian hoạt động chia cho số lần hư hỏng:

$$MTBF = Thđ/n \text{ (giờ/lần)}$$

Bảng 3.12 Thời gian trung bình giữa các lần hư hỏng của từng hệ thống

STT	Tên hệ thống	Thời gian hoạt động (giờ)	Số lần hư hỏng	MTBF (giờ/lần)
1	Hệ thống lò hơi	5612	48	116,917

2	Hệ thống khói gió	5810	27	215,185
3	Hệ thống cấp than	6006	19	316,105
4	Hệ thống lọc bụi tĩnh điện ESP	6108	16	381,750
5	Hệ thống thải xỉ tro đáy	5679	33	172,091
6	Hệ thống thổi bụi	6125	13	471,154

c. Thời gian dừng máy trung bình

Thời gian dừng máy trung bình (Mean Downtime – MDT) là khoảng thời gian dừng máy trung bình tính cả thời gian dừng máy để bảo trì sửa chữa và thời gian chờ đợi. Số liệu chi tiết được mô tả trong bảng dưới đây.

MDT được tính bằng thương số giữa tổng thời gian dừng máy và số lần hư hỏng:

$$MDT = T_{dm}/n \text{ (giờ/lần)}$$

Bảng 3.13 Thời gian dừng máy trung bình của từng hệ thống

STT	Tên hệ thống	Thời gian dừng máy(giờ)	Số lần hư hỏng	MDT (giờ/lần)
1	Hệ thống lò hơi	712	48	14,833
2	Hệ thống khói gió	514	27	19,037
3	Hệ thống cấp than	318	19	16,737
4	Hệ thống lọc bụi tĩnh điện ESP	216	16	13,500
5	Hệ thống thải xỉ tro đáy	645	33	19,545
6	Hệ thống thổi bụi	199	13	15,308

d. Chỉ số khả năng sẵn sàng của hệ thống

Chỉ số khả năng sẵn sàng (Availability– A) là chỉ số đo khả năng hoạt động của thiết bị mà không xảy ra vấn đề gì. Chỉ số này phụ thuộc vào đặc tính của hệ thống kỹ thuật và hiệu quả của công tác bảo trì. Số liệu chi tiết được mô tả trong bảng dưới đây.

Chỉ số khả năng sẵn sàng được tính bằng công thức:

$$A = MTBF / (MTBF + MDT)$$

Bảng 3.14 Chỉ số khả năng sẵn sàng của từng hệ thống

STT	Tên hệ thống	MTBF	MDT	A(%)
1	Hệ thống lò hơi	116,917	14,833	88.7

2	Hệ thống khói gió	215,185	19,037	91.9
3	Hệ thống cấp than	316,105	16,737	95.0
4	Hệ thống lọc bụi tĩnh điện ESP	381,750	13,500	96.6
5	Hệ thống thải xỉ tro đáy	172,091	19,545	89.8
6	Hệ thống thổi bụi	471,154	15,308	96.9

e. Chỉ số độ tin cậy của hệ thống

Độ tin cậy $R(t)$ của hệ thống là mức độ duy trì các chức năng làm việc của máy hoặc chi tiết trong máy trong khoảng thời gian khảo sát.

Quy luật phân bố hỏng hóc của máy theo dạng đường cong bồn tắm: $h(t) = \lambda$ nên độ tin cậy được tính bằng:

$$R = e^{-\lambda t}$$

Để xác định độ tin cậy của hệ thống sau một thời gian hoạt động, dựa vào chỉ số MTBF của các máy ta giả sử $T = 12$ ngày. Để xác định xem trong 12 ngày hoạt động độ tin cậy của thành phần sẽ là bao nhiêu. (vì khoảng MTBF của các máy trung bình đạt 12 ngày). Khoảng thời gian tính toán là 12 ngày, chi tiết về độ tin cậy của từng hệ thống được trình bày dưới bảng sau.

Bảng 3.15 Chỉ số tin cậy của từng hệ thống

STT	Tên hệ thống	Thời gian đánh giá (giờ)	Tỷ lệ hoạt động (λ)	R(%)
1	Hệ thống lò hơi	278	0,0085531	9.3
2	Hệ thống khói gió	278	0,004647	27.5
3	Hệ thống cấp than	278	0,0031635	41.5
4	Hệ thống lọc bụi tĩnh điện ESP	278	0,0026195	48.3
5	Hệ thống thải xỉ tro đáy	278	0,0058108	19.9
6	Hệ thống thổi bụi	278	0,0021224	55.4

3.6.3 Tổng hợp và đưa ra kết luận cho từng hệ thống

Bảng 3.16 Bảng tổng hợp các chỉ số tính toán của từng hệ thống

STT	Hệ thống	Tỷ lệ hư hỏng	MTBF	MDT	A(%)	R(%)
1	Hệ thống lò hơi	0,00855	116,917	14,833	88.7	9.3
2	Hệ thống khói gió	0,00465	215,185	19,037	91.9	27.5
3	Hệ thống cấp than	0,00316	316,105	16,737	95.0	41.5
4	Hệ thống lọc bụi tĩnh điện ESP	0,00262	381,750	13,500	96.6	48.3
5	Hệ thống thải xỉ tro đáy	0,00581	172,091	19,545	89.8	19.9
6	Hệ thống thổi bụi	0,00212	471,154	15,308	96.9	55.4

a. Phân tích dữ liệu thu thập

Bảng 3.17 Phân tích dữ liệu thu thập được thông qua quá trình tính toán

Hệ thống	Nhận xét
Lò hơi	Hệ thống lò hơi có hiệu suất kém nhất trong toàn bộ bảng. Với tỷ lệ hư hỏng cao nhất (0,00855) và MTBF thấp nhất (116,917 giờ), hệ thống thường xuyên gặp sự cố. Mặc dù thời gian sửa chữa trung bình (MDT) chỉ ở mức 14,833 giờ – không quá cao, nhưng độ tin cậy (R) chỉ đạt 9,3%, thấp nhất bảng, cho thấy nguy cơ hư hỏng trong thời gian ngắn là rất cao. Độ sẵn sàng (A) cũng chỉ ở mức 88,7% trung bình thấp. => Cần ưu tiên cải thiện đầu tiên, đặc biệt là cải tiến thiết bị và áp dụng bảo trì dự đoán để giảm số lần hỏng.
Khói gió	Hệ thống khói gió có hiệu suất trung bình. Tỷ lệ hư hỏng ở mức 0,00465, MTBF khá ổn (215,185 giờ), tuy nhiên MDT cao (19,037 giờ) làm giảm hiệu quả tổng thể. Độ sẵn sàng đạt 91,9% khá thấp, bên cạnh đó độ tin cậy chỉ 27,5% vẫn còn thấp. => Ưu tiên thứ 3 thực hiện bảo trì để cải thiện hiệu quả.
Cấp than	Hệ thống này hoạt động ổn định hơn. Tỷ lệ hư hỏng thấp (0,00316), MTBF khá cao (316,105 giờ) và MDT không quá dài (16,737 giờ). Độ sẵn sàng đạt 95% và độ tin cậy 41,5%, phản ánh một hệ thống có hiệu quả vận hành ổn.

ESP	Đây là một trong những hệ thống có hiệu suất tốt. Tỷ lệ hư hỏng thấp (0,00262), MTBF cao (381,750 giờ), MDT thấp (13,5 giờ), độ sẵn sàng 96,6%, và độ tin cậy R đạt 48,3% chỉ thấp hơn hệ thống thổi bụi.
Thải xỉ tro đáy	Với tỷ lệ hư hỏng đứng thứ hai (0,00581) và MDT cao nhất (19,545 giờ), hệ thống này thường xuyên phải ngừng hoạt động trong thời gian dài mỗi lần hỏng. MTBF đạt 172,091 giờ khá thấp so với các hệ thống khác. Độ sẵn sàng chỉ ở mức 89,8%, và độ tin cậy R cũng rất thấp chỉ 19,9%, phản ánh tính không ổn định. =>Ưu tiên cải tiến thứ hai, đặc biệt cần giảm thời gian sửa chữa và tăng khoảng cách giữa các lần hỏng.
Thổi bụi	Hệ thống thổi bụi là hệ thống có chỉ số vận hành tốt nhất trong cụm lò hơi, với tỷ lệ hư hỏng thấp nhất (0,00212), MTBF cao nhất (471,154 giờ), MDT vừa phải (15,308 giờ), độ sẵn sàng đạt 96,9%, và độ tin cậy cao nhất (55,4%).

b. Kết luận – Thứ tự ưu tiên cải thiện

Bảng 3.18 Thứ tự ưu tiên bảo trì

Thứ tự ưu tiên	Hệ thống	Lý do chính
1	Hệ thống lò hơi	Hư hỏng thường xuyên, độ tin cậy thấp nhất
2	Hệ thống thải xỉ tro đáy	Tần suất hỏng cao và MDT lớn
3	Hệ thống khói gió	MDT cao, R thấp
4	Hệ thống cấp than	Hiệu suất khá tốt, chỉ cần duy trì
5	Hệ thống ESP và thổi bụi	Hoạt động hiệu quả, độ tin cậy cao

CHƯƠNG IV XÂY DỰNG MÔ HÌNH BẢO TRÌ DỰ BÁO

4.1 Phân tích dữ liệu lỗi quá khứ

4.1.1 Các lỗi thường gặp và tần suất lỗi

Các dạng hư hỏng thường gặp và tần suất xảy ra được mô tả tại các bảng dưới đây

Bảng 4.1 Các dạng hư hỏng thường xảy ra trên hệ thống lò hơi

STT	Mã hư hỏng	Loại hư hỏng	Số lần hư hỏng
1	A1	Sự cố tại nắm gió – không đảm bảo lưu lượng gió cấp	17
2	A2	Rò rỉ dầu tại bộ trao đổi nhiệt	13
3	A3	Rò rỉ hơi nước tại bao hơi	11
4	A4	Van an toàn không xả đúng áp suất	4
5	A5	Hư hỏng kết cấu bê tông lò hơi	3
Tổng			48

Bảng 4.2 Các dạng hư hỏng thường xảy ra trên hệ thống khói gió

STT	Mã hư hỏng	Loại hư hỏng	Số lần hư hỏng
1	B1	Buồng quạt gió bị rò rỉ hơi nóng	11
2	B2	Van điều hướng khí không hoạt động	9
3	B3	Rò rỉ dầu bôi trơn tại gối trục quạt	4
4	B4	Hư hỏng hoặc rò rỉ ống dẫn gió	3
Tổng			27

Bảng 4.3 Các dạng hư hỏng thường xảy ra trên hệ thống cấp than

STT	Mã hư hỏng	Loại hư hỏng	Số lần hư hỏng
1	C1	Lệch băng tải cấp than	11
2	C2	Kẹt than tại phễu chứa	6
3	C3	Hỏng khớp nối hoặc hộp giảm tốc	2

Tổng	19
------	----

Bảng 4.4 Các dạng hư hỏng thường xảy ra trên hệ thống lọc bụi tĩnh điện ESP

STT	Mã hư hỏng	Loại hư hỏng	Số lần hư hỏng
1	D1	Hệ thống gõ rung bụi hoạt động không đúng cách	9
2	D2	Điện cực bị cong, gãy và mòn	3
3	D3	Hệ thống điều khiển và cảm biến bị sai lệch hoặc không hoạt động	2
4	D4	Rò rỉ hoặc chập điện tại tủ điện cao áp	2
Tổng			16

Bảng 4.5 Các dạng hư hỏng thường xảy ra trên hệ thống thải xỉ tro đáy

STT	Mã hư hỏng	Loại hư hỏng	Số lần hư hỏng
1	E1	Rò rỉ nước tại bộ phận làm mát phễu xỉ	14
2	E2	Hệ thống bơm thải xỉ bị hư hỏng	11
3	E3	Hệ thống băng tải vận chuyển xỉ ngưng hoạt động	4
4	E4	Tắc nghẽn trong đường ống thải xỉ	2
5	E5	Hỏng van xả xỉ	2
Tổng			33

Bảng 4.6 Các dạng hư hỏng thường xảy ra trên hệ thống thổi bụi

STT	Mã hư hỏng	Loại hư hỏng	Số lần hư hỏng
1	F1	Hư hại hệ thống đồng bộ đầu thổi	7
2	F2	Kẹt ống thổi hơi	5
3	F3	Rò rỉ hơi tại khớp nối và van điều khiển	1
Tổng			13

4.1.2 Xác định các lỗi cần được xem xét

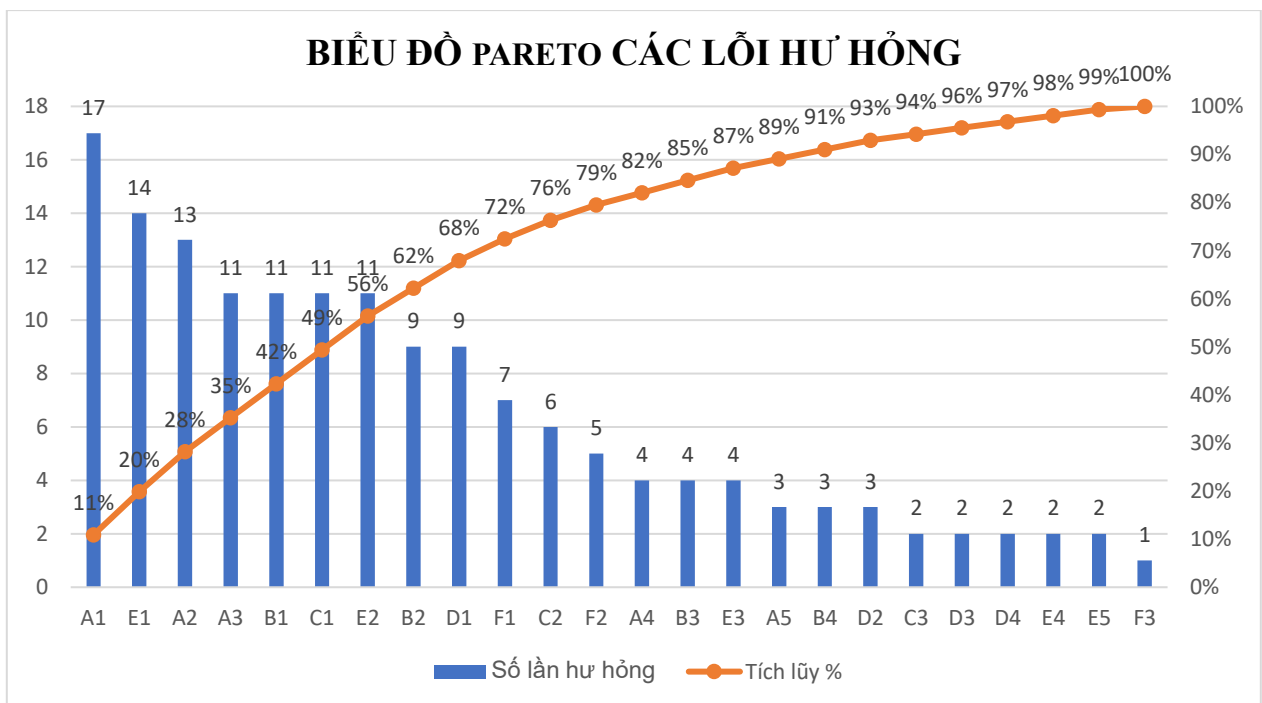
Để tối ưu hóa việc giám sát và bảo trì hệ thống trong nhà máy, ở phần này sẽ sử dụng mô hình Pareto nhằm xác định các lỗi hư hỏng có tần suất cao nhất và ảnh hưởng lớn đến vận hành tổng thể. Dựa trên nguyên lý 80/20, sẽ tiến hành phân tích toàn bộ 24 lỗi phát sinh, sắp xếp theo số lần xảy ra và tính phần trăm cộng dồn.

Bảng 4.7 Sắp xếp số lần hư hỏng theo thứ tự giảm dần

Mã hư hỏng	Lỗi hư hỏng	Số lần hư hỏng	Tỷ lệ %	Tích lũy %
A1	Sự cố tại nắm gió – không đảm bảo lưu lượng gió cấp	17	11%	11%
E1	Rò rỉ nước tại bộ phận làm mát phễu xỉ	14	9%	20%
A2	Rò rỉ dầu tại bộ trao đổi nhiệt	13	8%	28%
A3	Rò rỉ hơi nước tại bao hơi	11	7%	35%
B1	Buồng quạt gió bị rò rỉ hơi nóng	11	7%	42%
C1	Lệch băng tải cấp than	11	7%	49%
E2	Hệ thống bơm thải xỉ bị hư hỏng	11	7%	56%
B2	Van điều hướng khí không hoạt động	9	6%	62%
D1	Hệ thống gõ rung bụi hoạt động không đúng cách	9	6%	68%
F1	Hư hại hệ thống đồng bộ đầu thổi	7	4%	72%
C2	Kẹt than tại phễu chứa	6	4%	76%
F2	Kẹt ống thổi hơi	5	3%	79%
A4	Van an toàn không xả đúng áp suất	4	3%	82%
B3	Rò rỉ dầu bôi trơn tại gối trục quạt	4	3%	85%
E3	Hệ thống băng tải vận chuyển xỉ ngưng hoạt động	4	3%	87%
A5	Hư hỏng kết cấu bê tông lò hơi	3	2%	89%
B4	Hư hỏng hoặc rò rỉ ống dẫn gió	3	2%	91%
D2	Điện cực bị cong, gãy và mòn	3	2%	93%
C3	Hỏng khớp nối hoặc hộp giảm tốc	2	1%	94%

D3	Hệ thống điều khiển và cảm biến bị sai lệch hoặc không hoạt động	2	1%	96%
D4	Rò rỉ hoặc chập điện tại tủ điện cao áp	2	1%	97%
E4	Tắt nghẽn trong đường ống thải xỉ	2	1%	98%
E5	Hỏng van xả xỉ	2	1%	99%
F3	Rò rỉ hơi tại khớp nối và van điều khiển	1	1%	100%
Tổng số các lỗi		156	100%	

Sau khi thực hiện quá trình sắp xếp và tính toán ta có mô hình Pareto như sau:



Hình 4.1 Biểu đồ PARETO thể hiện các loại hư hỏng thường gặp ở các hệ thống xem xét

Kết luận: Dựa trên biểu đồ Pareto các lỗi hư hỏng, ta nhận thấy rõ ràng một số ít loại lỗi chiếm phần lớn số lần sự cố xảy ra. Cụ thể, chỉ 12 lỗi đầu tiên (từ mã A1 đến F2) đã chiếm tới 79% tổng số lần hư hỏng trong toàn hệ thống. Điều này phản ánh đúng nguyên lý 80/20 nơi một tỷ lệ nhỏ nguyên nhân gây ra phần lớn hậu quả. Những lỗi sẽ được xem xét để thực hiện phương pháp bảo trì dự báo được thể hiện dưới bảng sau:

Bảng 4.8 Những lỗi được xem xét bảo trì thông qua mô hình Pareto

STT	Mã hư hỏng	Lỗi hư hỏng	Số lần hư hỏng
1	A1	Sự cố tại nắm gió – không đảm bảo lưu lượng gió cấp	17
2	E1	Rò rỉ nước tại bộ phận làm mát phễu xỉ	14
3	A2	Rò rỉ dầu tại bộ trao đổi nhiệt	13
4	A3	Rò rỉ hơi nước tại bao hơi	11
5	B1	Buồng quạt gió bị rò rỉ hơi nóng	11
6	C1	Lệch băng tải cấp than	11
7	E2	Hệ thống bơm thải xỉ bị hư hỏng	11
8	B2	Van điều hướng khí không hoạt động	9
9	D1	Hệ thống gõ rung bụi hoạt động không đúng cách	9
10	F1	Hư hại hệ thống đồng bộ đầu thổi	7
11	C2	Kẹt than tại phễu chứa	6
12	F2	Kẹt ống thổi hơi	5

4.1.3 Phân tích và lựa chọn nhóm lỗi

Sau khi áp dụng mô hình Pareto để xác định nhóm lỗi ưu tiên nhằm triển khai giải pháp giám sát bằng cảm biến, tôi đã lựa chọn các lỗi chiếm tỷ lệ tích lũy đến 79% số lần hư hỏng, tương ứng với 12 lỗi đầu tiên có tần suất cao nhất. Đây là những lỗi có khả năng gây ảnh hưởng lớn đến hoạt động chung của nhà máy nếu không được kiểm soát kịp thời.

Tuy nhiên, một vấn đề nảy sinh là trong nhóm lỗi này có một số lỗi lại thuộc các hệ thống không nằm trong nhóm được ưu tiên cải tiến ban đầu, cụ thể là nhóm C, D và F – các hệ thống vốn được đánh giá là đang hoạt động ổn định. Ví dụ: lỗi C1 - lệch băng tải cấp than (11 lần), lỗi D1 - hệ thống gõ rung bụi hoạt động không đúng cách (9 lần), hay lỗi F1 - hư hại đồng bộ đầu thổi (7 lần). Dù hệ thống tương ứng hoạt động ổn định, nhưng các lỗi này lại xuất hiện thường xuyên, phản ánh rủi ro tiềm ẩn cao nếu không được giám sát.

Để giải quyết mâu thuẫn này tôi sử dụng mô hình đánh giá ưu tiên hai tầng nhằm đảm bảo tính toàn diện và cân bằng giữa chiến lược cải tiến và độ bao phủ rủi ro.

Tầng 1 – Sàng lọc sơ bộ (Ưu tiên hệ thống)

Lựa chọn tập trung lắp cảm biến cho các lỗi xuất hiện trong ba nhóm hệ thống A, B và E là các nhóm được xác định có mức độ ảnh hưởng lớn và cần cải tiến sớm được xác định ở chương 3.

Bảng 4.9 Những lỗi được lựa chọn bảo trì dự đoán tầng 1

STT	Hệ thống	Mã hư hỏng	Lỗi hư hỏng	Số lần hư hỏng
1	Hệ thống lò hơi	A1	Sự cố tại nắm gió – không đảm bảo lưu lượng gió cấp	17
2		A2	Rò rỉ dầu tại bộ trao đổi nhiệt	13
3		A3	Rò rỉ hơi nước tại bao hơi	11
4	Hệ thống khói gió	B1	Buồng quạt gió bị rò rỉ hơi nóng	11
5		B2	Van điều hướng khí không hoạt động	9
6	Hệ thống thải xỉ tro đáy	E1	Rò rỉ nước tại bộ phận làm mát phễu xỉ	14
7		E2	Hệ thống bơm thải xỉ bị hư hỏng	11

Tầng 2 – Đánh giá chi tiết (Ưu tiên theo mức độ ảnh hưởng)

Các lỗi thuộc nhóm hệ thống C, D, F hoạt động ổn định nhưng nằm trong nhóm lỗi có tần suất cao nhất sẽ được xem xét có nên áp dụng mô hình cảm biến hay chỉ để giám sát cục bộ hoặc định kỳ tùy theo mức độ ảnh hưởng đến nhà máy và khả năng phù hợp khi áp dụng cảm biến giám sát.

Bảng 4.10 Những lỗi được lựa chọn bảo trì dự đoán tầng 2

STT	Hệ thống	Mã hư hỏng	Lỗi hư hỏng	Đánh giá
1	Hệ thống cấp than	C1	Lệch băng tải cấp than	Lựa chọn
2		C2	Kẹt than tại phễu chứa	Không
3	Hệ thống ESP	D1	Hệ thống gõ rung bụi hoạt động không đúng cách	Lựa chọn

4	Hệ thống thổi bụi	F1	Hư hại hệ thống đồng bộ đầu thổi	Không
5		F2	Kẹt ống thổi hơi	Không

Phân tích cơ sở để lựa chọn lắp đặt cảm biến C1 – D1

C1 – Lệch băng tải cấp than

- Tần suất lỗi cao (11 lần), nằm trong top 5 lỗi phổ biến nhất theo biểu đồ Pareto.
- Lỗi này nếu không được phát hiện sớm có thể dẫn tới kẹt tải, gián đoạn cấp nhiên liệu → ảnh hưởng trực tiếp tới chu trình sản xuất.

Hơn nữa, việc phát hiện lệch băng có thể giám sát bằng cảm biến đơn giản như cảm biến tiệm cận hoặc công tắc hành trình → chi phí đầu tư thấp, hiệu quả cao.

D1 – Hệ thống gõ rung bụi hoạt động không đúng cách

- Lỗi này ảnh hưởng đến hiệu quả lọc bụi của hệ thống ESP, có thể gây quá nhiệt, bụi tích tụ hoặc hư hại các thiết bị khác.
- Cảm biến rung hoặc cảm biến hành trình có thể lắp đặt để phát hiện sai lệch hoặc ngưng hoạt động của gõ rung, giúp phản ứng sớm trước khi lỗi lan rộng.

Đây là lỗi khó nhận biết bằng mắt thường, nên giám sát tự động là cần thiết và hợp lý.

Phân tích lý do không chọn C2, F1, F2 để lắp cảm biến (chỉ bảo trì định kỳ)

C2 – Kẹt than tại phễu chứa

- Mặc dù có tần suất tương đối cao (6 lần), nhưng nguyên nhân thường do than ướt, kích thước không đều hoặc chất lượng không ổn định – yếu tố khó giám sát bằng cảm biến.
- Việc lắp cảm biến dòng chảy hay mức liệu trong phễu than có thể không cải thiện hiệu quả rõ rệt do độ trễ trong phản ứng và xử lý kẹt.

Do đó, tăng tần suất kiểm tra và bảo trì cơ học định kỳ cũng như cải tiến hệ thống nghiền than đầu vào sẽ hiệu quả và kinh tế hơn.

F1 – Hư hại hệ thống đồng bộ đầu thổi

- Lỗi thuộc hệ thống F – ít ưu tiên trong chiến lược tổng thể.
- Hư hại dạng này thường phát sinh do mài mòn cơ khí hoặc sai lệch đồng bộ, khó giám sát bằng cảm biến đơn giản → nếu cần, phải dùng hệ thống giám sát phức tạp, tốn kém.

Tần suất lỗi không quá cao và xuất hiện theo chu trình có thể xác định → ưu tiên theo dõi, bôi trơn và căn chỉnh định kỳ hợp lý hơn là lắp cảm biến.

F2 – Kẹt ống thổi hơi

Mặc dù lỗi này ảnh hưởng đến chức năng làm sạch bề mặt ống sinh hơi, nhưng trong thực tế, tần suất xuất hiện không cao (chỉ 5 lần) và thường liên quan đến:

- Cặn bẩn tích tụ lâu ngày.
- Hơi nước không đủ áp lực hoặc gián đoạn cấp hơi.
- Tụ chất, gỉ sét bám trong ống thổi.

Các nguyên nhân trên thường phát sinh chậm, dễ nhận biết trong quá trình vận hành, và việc giám sát tự động bằng cảm biến (như cảm biến áp suất, lưu lượng hơi) khó phát hiện trực tiếp hiện tượng "kẹt" mà chỉ phát hiện được gián tiếp (qua áp suất bất thường...).

Do đó, thay vì lắp cảm biến:

- Nên thực hiện vệ sinh định kỳ ống thổi hơi.
- Đảm bảo chất lượng hơi cung cấp ổn định và không chứa nước.
- Kiểm tra định kỳ độ sạch đường ống và khả năng đóng/mở van xả.

Kết luận những lỗi được chọn được thể hiện dưới bảng sau

Bảng 4.11 Tổng kết các lỗi được lựa chọn bảo trì dự đoán

STT	Mã lỗi	Loại hư hỏng
1	A1	Sự cố tại nắm gió – không đảm bảo lưu lượng gió cấp
2	A2	Rò rỉ dầu tại bộ trao đổi nhiệt
3	A3	Rò rỉ hơi nước tại bao hơi
4	B1	Buồng quạt gió bị rò rỉ hơi nóng
5	B2	Van điều hướng khí không hoạt động
6	E1	Rò rỉ nước tại bộ phận làm mát phễu xỉ
7	E2	Hệ thống bơm thải xỉ bị hư hỏng
8	C1	Lệch băng tải cấp than
9	D1	Hệ thống gõ rung bụi hoạt động không đúng cách

4.2 Tích hợp cảm biến và ghi dữ liệu hiện tại

4.2.1 Xác định cảm biến và vị trí lắp đặt cảm biến

Dựa trên dữ liệu của mô hình Pareto đã xác định được trên 4.1 để xác định các lỗi sẽ được lựa chọn tích hợp cảm biến nhằm mục đích thu thập dữ liệu trực tiếp để xây dựng mô hình bảo trì dự đoán một cách chuẩn xác nhất.

a. Phân tích chi tiết các lỗi đã lựa chọn

Bảng 4.12 Xác định các loại cảm biến cho từng lỗi

STT	Lỗi hư hỏng	Nguyên nhân	Dấu hiệu
1	Sự cố tại nắm gió – không đảm bảo lưu lượng gió cấp	- Nguyên nhân chính do cánh nắm gió bị kẹt bởi bụi than hoặc xỉ dẫn đến không thể đóng mở linh hoạt. - Ngoài ra, sự cố điều khiển động cơ quay nắm gió cũng có thể khiến lưu lượng gió không được phân bổ đều.	- Lưu lượng gió cấp giảm dưới ngưỡng.
2	Rò rỉ dầu tại bộ trao đổi nhiệt	- Do hư hỏng các phớt làm kín lâu ngày không được bảo trì, hoặc nhiệt độ cao gây phá hủy gioăng làm kín. - Áp suất dầu quá cao cũng là nguyên nhân gây vỡ đường ống.	- Áp suất dầu giảm - Có mùi khét và hiện tượng cháy âm ỉ xung quanh bộ trao đổi nhiệt
3	Rò rỉ hơi nước tại bao hơi	- Do hư hỏng mối hàn, giãn nở nhiệt lâu ngày gây nứt vỡ, hoặc ăn mòn bên trong ống do chất lượng nước cấp không đạt chuẩn.	- Áp suất hơi giảm - Phát hiện tiếng rít hoặc sương hơi nước thoát ra gần bao hơi
4	Buồng quạt gió bị rò rỉ hơi nóng	- Do gioăng làm kín lão hóa hoặc lắp đặt không đúng kỹ thuật. Hơi nóng áp cao từ lò rò rỉ qua khe hở làm hư hỏng các thiết bị xung quanh.	- Nhiệt độ khu vực quạt tăng bất thường - Có khói nhẹ và độ ẩm cao gần bộ phận quạt
5	Van điều hướng khí không hoạt động	- Động cơ chấp hành bị lỗi, bụi bẩn bám vào cơ cấu khớp làm cản trở chuyển động. - Cũng có thể do cảm biến vị trí sai lệch.	- Không thay đổi hướng luồng khí khi điều chỉnh.
6	Rò rỉ nước tại bộ phận	- Ống dẫn nước bị nứt do nhiệt độ cao từ xỉ nóng, hoặc lớp bảo	- Mất áp nước tại bơm - Tăng độ ẩm vùng đáy xỉ

	làm mát phễu xỉ	ôn bị xuống cấp, không cách nhiệt tốt.	
7	Hệ thống bơm thải xỉ bị hư hỏng	- Động cơ quá nhiệt do bám xỉ, hoặc chất lượng nước xỉ có độ ăn mòn cao gây kẹt cánh bơm. - Ngoài ra, vận hành thiếu nước cũng gây cháy bơm.	- Tiếng ồn bất thường từ bơm - Dòng điện tăng đột ngột
8	Lệch băng tải cấp than	- Băng tải bị lệch do mòn trục quay con lăn hoặc kết cấu bị biến dạng. Một số trường hợp do tải trọng không đều làm băng kéo lệch về một phía.	- Than đổ lệch ra ngoài - Hệ thống rung giật bất thường
9	Hệ thống gõ rung bụi hoạt động không đúng cách	- Mô tơ gõ rung bị mòn, chổi than mòn, hoặc thanh rung bị kẹt - Điều khiển không phát lệnh tuần tự cũng là nguyên nhân.	- Bụi tích tụ trong ngăn lọc - Tăng trở lực quạt hút

b. Xác định cảm biến và vị trí lắp đặt

Bảng 4.13 Xác định cảm biến và vị trí lắp đặt cảm biến

STT	Loại hư hỏng	Cảm biến	Vị trí lắp đặt
1	Sự cố tại năm gió – không đảm bảo lưu lượng gió cấp	Cảm biến lưu lượng gió	Tại ống dẫn gió cấp vào buồng đốt để giám sát lưu lượng khí gió cấp.
2	Rò rỉ dầu tại bộ trao đổi nhiệt	Cảm biến áp suất dầu	Tại đầu vào và đầu ra bộ trao đổi nhiệt để kiểm soát áp suất và phát hiện rò rỉ.
3	Rò rỉ hơi nước tại bao hơi	Cảm biến áp suất hơi	Tại thân bao hơi
4	Buồng quạt gió bị rò rỉ hơi nóng	Cảm biến nhiệt độ tiếp xúc	Tại ống gió thoát ra.

5	Van điều hướng khí không hoạt động	Cảm biến vị trí van	Tại cơ cấu chấp hành và trục quay van.
6	Rò rỉ nước tại bộ phận làm mát phễu xỉ	Cảm biến áp suất nước	Đường ống nước làm mát quanh phễu.
7	Hệ thống bơm thải xỉ bị hư hỏng	Cảm biến dòng điện	Tại động cơ và đầu xả của bơm xỉ.
8	Lệch băng tải cấp than	Cảm biến lệch băng tải	Ở đầu vào và ra của băng tải và hai bên thành băng.
9	Hệ thống gõ rung bụi hoạt động không đúng cách	Cảm biến rung	Tại đầu rung và khung lọc.

c. Thông số kỹ thuật của các loại cảm biến

Bảng 4.14 Thông số kỹ thuật của từng loại cảm biến

Mã lỗi	Cảm biến	Thông số kỹ thuật
A1	Cảm biến đo lưu lượng gió	- Dải đo: 0 – 10000 Nm³/h - Độ chính xác: ±1% Nm³/h - Ngõ ra: 4-20 mA, 0-5 VDC, 0-10 VDC - Nguồn: 10-35 VDC - Chuẩn bảo vệ: IP66
A2	Cảm biến áp suất dầu	- Dải đo: 0-10 bar - Độ chính xác: ±0.25% FSO - Ngõ ra: 4-20 mA hoặc Modbus RTU - Nguồn: 10-30 VDC - Chuẩn bảo vệ: IP6
A3	Cảm biến áp suất hơi	- Dải đo: 1-50 Mpa - Độ chính xác: ±0.5% FSO - Ngõ ra: 4-20 mA - Nguồn: 10-30 VDC - Chuẩn bảo vệ: IP65
B1	Cảm biến nhiệt độ	- Dải đo: -200 đến 850°C - Ngõ ra: 4-20 mA

		- Nguồn: 12-35 VDC - Chuẩn bảo vệ: IP65
B2	Cảm biến vị trí quay	- Dải đo: 25-4000 mm - Độ lặp lại: $\leq \pm 10 \mu\text{m}$ - Ngõ ra: IO-Link - Nguồn: 18-30 VDC - Chuẩn bảo vệ: IP67
E1	Cảm biến áp suất nước	- Dải đo: 0-10 bar - Ngõ ra: 4-20 mA - Nguồn: 24 VDC - Chuẩn bảo vệ: IP65
E2	Cảm biến dòng điện động cơ	- Dòng đo: CT 1A hoặc 5A (ứng với 100 A) - Ngõ ra: Modbus RTU - Nguồn: 100-277 VAC - Chuẩn bảo vệ: IP51
C1	Cảm biến dòng điện	- Ngõ ra: Relay NO/NC - Nguồn: 24 VDC - Chuẩn bảo vệ: IP66
D1	Cảm biến rung	- Dải đo: 0 – 10 mm/s RMS (tương ứng với $\leq 4 \text{ mm/s RMS}$) - Ngõ ra: 4-20 mA - Nguồn: 18-30 VDC - Chuẩn bảo vệ: IP67

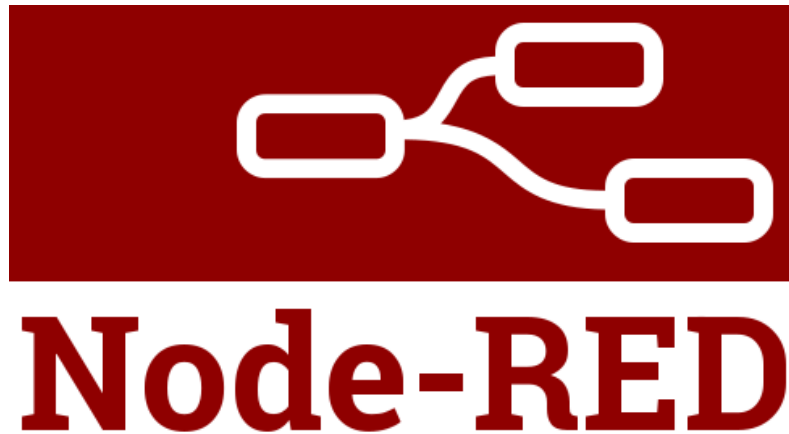
4.3 Ứng dụng phần mềm Node-RED trong việc triển khai mô hình

4.3.1 Phần mềm Node-RED

Node-RED là một nền tảng lập trình trực quan mã nguồn mở, được phát triển bởi IBM, giúp người dùng dễ dàng kết nối các thiết bị phần cứng, API và dịch vụ trực tuyến thông qua các "nodes" kéo thả. Giao diện dạng luồng (flow-based programming) giúp đơn giản hóa quá trình xây dựng các ứng dụng IoT, tự động hóa và điều khiển thiết bị mà không cần viết nhiều mã lập trình.

Với Node-RED, người dùng có thể thu thập dữ liệu cảm biến theo thời gian thực, xử lý, hiển thị trên dashboard và gửi cảnh báo qua email, Telegram,... Phần mềm hỗ trợ tích hợp

với các nền tảng như MQTT, Modbus, OPC UA, và có thể mở rộng linh hoạt bằng JavaScript. Đây là công cụ hiệu quả để triển khai mô hình bảo trì dự báo, giám sát nhà máy hoặc hệ thống công nghiệp thông minh



Hình 4.2 Phần mềm tạo lập mô hình bảo trì dự đoán

Trong công nghiệp, Node-RED được sử dụng để giám sát và điều khiển các quy trình sản xuất và thiết bị thông qua việc kết nối cảm biến với máy móc để thu thập dữ liệu như nhiệt độ, độ rung, và điện năng tiêu thụ. Từ đó, người dùng có thể phát hiện sớm các lỗi và ngăn ngừa hỏng hóc. Theo dõi dây chuyền sản xuất bằng cách tạo bảng hiển thị trạng thái của từng bước trong dây chuyền sản xuất, giúp quản lý dễ dàng kiểm tra hiệu suất và xử lý sự cố nhanh chóng. Node-RED cũng có thể tích hợp với hệ thống năng lượng để giám sát và điều chỉnh mức tiêu thụ điện năng, tối ưu hóa chi phí vận hành. Với các ưu điểm vượt trội như sau:

1. Dễ sử dụng: Node-RED cung cấp một giao diện trực quan và dễ sử dụng cho người dùng, giúp họ nhanh chóng tạo ra các luồng làm việc mà không cần kiến thức lập trình sâu.
2. Kết nối nhanh chóng: Với hơn 3,000 nodes có sẵn trong thư viện của Node-RED, bạn có thể kết nối với nhiều thiết bị IoT và dịch vụ trực tuyến khác nhau.
3. Mạnh mẽ và mở rộng: Node-RED có khả năng mở rộng và tùy chỉnh cao, cho phép bạn thêm các nodes tùy chỉnh và tích hợp với các dự án phức tạp.
4. Hỗ trợ lớn: Cộng đồng Node-RED rất lớn và nhiệt tình, với nhiều tài liệu và ví dụ sẵn có.

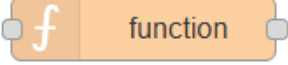
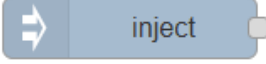
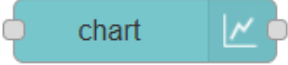
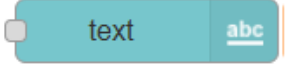
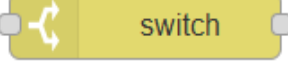
4.3.2 Chức năng các node trong phần mềm

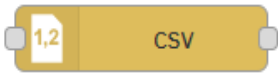
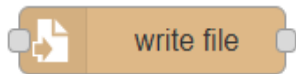
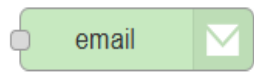
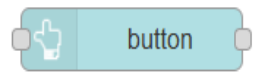
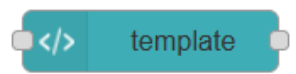
Hệ thống Node-RED được thiết kế theo kiến trúc mô-đun, chia thành các flow chính bao gồm: (1) Flow thu thập dữ liệu cảm biến, (2) Flow tính toán chỉ số bảo trì dự báo, (3) Flow cảnh báo và giám sát thời gian thực, và (4) Flow lưu trữ và trích xuất báo cáo.

Node-RED là một nền tảng phát triển ứng dụng dựa trên dòng dữ liệu (flow-based programming) được xây dựng trên nền tảng Node.js. Vì vậy, ngôn ngữ lập trình chính sử dụng trong Node-RED là JavaScript. Ngoài ra, Node-RED còn hỗ trợ tích hợp với ngôn ngữ Python thông qua node exec hoặc node-red-contrib-python-function, cho phép người dùng gọi các mô hình machine learning, xử lý số liệu nâng cao hoặc tính toán RUL bằng thư viện Scikit-learn, TensorFlow, NumPy,...

Dưới đây là hình ảnh và chức năng của các node được sử dụng để xây dựng mô hình bảo trì dự báo trong đề án lần này.

Bảng 4.15 Chức năng của các node trong phần mềm mô phỏng

STT	Node	Chức năng	Hình ảnh
1	Function node	Node này cho phép bạn viết JavaScript để xử lý dữ liệu đầu vào. Bạn có thể tạo, sửa, lọc, chuyển đổi hoặc kiểm tra điều kiện trên dữ liệu. Đây là node linh hoạt nhất để tạo logic tùy chỉnh.	
2	Inject node	Dùng để gửi dữ liệu theo lịch (hẹn giờ) hoặc bằng cách thủ công (nhấn nút). Nó thường được sử dụng để khởi tạo một dòng dữ liệu hoặc kích hoạt một flow (chuỗi xử lý).	
3	UI Chart node	Hiển thị dữ liệu dạng biểu đồ (line chart, bar chart, pie chart...) trên dashboard. Dữ liệu được truyền vào qua msg.payload, có thể là số, mảng hoặc đối tượng tùy cấu hình.	
4	UI Text node	Hiển thị văn bản hoặc giá trị số trên dashboard. Có thể dùng để hiển thị trạng thái hệ thống, mức cảnh báo, hoặc kết quả tính toán (như RUL).	
5	Switch node	Dùng để rẽ nhánh dòng dữ liệu dựa trên điều kiện (giống như câu lệnh if...else). Bạn có thể kiểm tra giá trị	

		của msg.payload hoặc thuộc tính bất kỳ rồi chuyển dữ liệu sang các nhánh tương ứng.	
6	CSV node	Chuyển đổi giữa đối tượng JSON và chuỗi CSV. Rất hữu ích để xuất dữ liệu cảm biến thành bảng CSV lưu trữ hoặc gửi email.	
8	File node	Ghi dữ liệu ra file hoặc đọc dữ liệu từ file trong hệ thống. Bạn có thể lưu dữ liệu thành file .csv, .json, .txt, hoặc ảnh .png.	
9	Email node	Gửi email thông qua dịch vụ SMTP (ví dụ Gmail). Bạn cần cấu hình tài khoản, địa chỉ người nhận, tiêu đề và nội dung từ msg.payload.	
10	UI Button node	Tạo nút trên dashboard để người dùng tương tác thủ công, ví dụ: bắt đầu/dừng hệ thống, gửi lệnh, xóa dữ liệu. Khi nhấn, node sẽ phát ra một msg.payload. Tạo nút trên dashboard để người dùng tương tác thủ công, ví dụ: bắt đầu/dừng hệ thống, gửi lệnh, xóa dữ liệu. Khi nhấn, node sẽ phát ra một msg.payload.	
11	Template node	Tạo nội dung HTML, văn bản, hoặc JSON dựa trên mẫu có sẵn. Thường dùng để định dạng nội dung email hoặc hiển thị thông báo.	

4.3.3 Triển khai xây dựng mô hình

4.3.3.1 Thông số thu thập từ cảm biến

Bảng 4.16 Các thông số và ngưỡng thu thập từ cảm biến

STT	Lỗi	Cảm biến	Ngưỡng bình thường	Ngưỡng cảnh báo
-----	-----	----------	--------------------	-----------------

1	A1	Cảm biến đo lưu lượng gió (Pitot tube)	3000 Nm ³ /h - 3100 Nm ³ /h	< 3000 Nm ³ /h
2	A2	Cảm biến áp suất dầu (WIKA S-20)	4.5 – 5 bar	<4.5 bar hoặc giảm > 0.5 bar/5 phút
3	A3	Cảm biến áp suất hơi	40-45 Mpa	> 45 dB, tăng liên tục > 5 dB
4	B1	Cảm biến nhiệt độ (PT100)	60-75°C	> 80 °C hoặc tăng > 10 °C/5 phút
5	B2	Cảm biến vị trí quay (Balluff)	Đổi trạng thái < 2 giây sau lệnh	Không đổi trạng thái > 5 giây
6	E1	Cảm biến áp suất nước (Phoenix Contact)	4 – 5 bar	< 4 bar hoặc giảm > 0.5 bar/5 phút
7	E2	Cảm biến dòng điện động cơ	70 – 80 A	> 90 A hoặc dao động > ±10 A trong 5 phút
8	C1	Cảm biến dòng điện (Current Transformer)	0.8 – 1.2 In	> 1.2 In hoặc dòng không đồng đều giữa pha
9	D1	Cảm biến rung (Omega IRV500)	≤ 4 mm/s (RMS)	> 4 mm/s hoặc tăng > 1 mm/s trong 10 phút

4.3.3.2 Xử lý và tính toán dữ liệu

a. Mô hình ngưỡng cảnh báo 3 tầng

Trong hệ thống giám sát thiết bị công nghiệp, việc xử lý dữ liệu cảm biến và phản hồi thông minh theo mức độ bất thường đóng vai trò then chốt. Đề tài sử dụng Node-RED để xây dựng một mô hình cảnh báo 3 tầng, đi kèm phản ứng tự động theo cấp độ cảnh báo, nhằm:

- Cảnh báo kịp thời tình trạng thiết bị.
- Tăng độ tin cậy trong vận hành.
- Tối ưu hoá hoạt động bảo trì và ngăn ngừa sự cố nghiêm trọng.

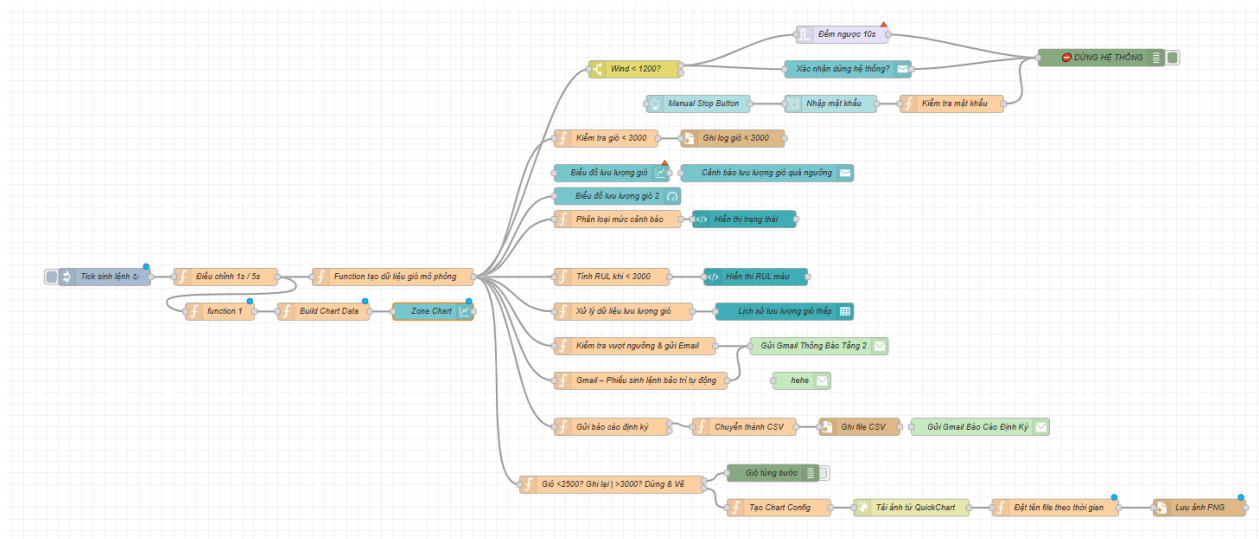
Bảng 4.17 Cấu trúc cảnh báo ba tầng & phản ứng thông minh

Các cấp độ cảnh báo	Điều kiện kích hoạt	Phản ứng thông minh triển khai trong Node-RED
Tầng 1 – Nhẹ	Cảm biến vượt nhẹ mức an toàn và diễn ra trong thời gian ngắn	- Lưu log sự kiện vào file (file node) để phục vụ phân tích sau. - Thông báo trực quan trên Dashboard: Đổi màu ô cảm biến sang vàng - Hiển thị dòng: "  Cảnh báo suy giảm nhẹ - Chú ý kiểm tra" - Tăng tần suất lấy mẫu dữ liệu.
Tầng 2 – Trung bình	Vượt ngưỡng cảnh báo trung bình và kéo dài trong khoảng 5 phút	- Gửi cảnh báo qua Email + Telegram (email node, telegram node) kèm mô tả chi tiết và giá trị hiện tại. - Kích hoạt kiểm tra bán tự động: Hiển thị nút “Bắt đầu kiểm tra” cho kỹ thuật viên - Đồng thời bật còi/đèn chớp nhẹ bằng gpio, buzzer trong 3 phút. - Màu Dashboard đổi sang cam/đỏ nhấp nháy, dòng chữ: "   Cảnh báo trung bình – Cần kiểm tra trong vòng 15 phút." - Tự động lưu snapshot dữ liệu hiện tại (các cảm biến liên quan).
Tầng 3 – Nghiêm trọng	Vượt ngưỡng nguy hiểm và có sự kéo dài trong 15 phút	- Tự động tắt thiết bị nguy hiểm - Gửi cảnh báo khẩn cấp đến quản lý cấp cao (Email khẩn, Telegram khẩn, SMS nếu cần). - Ghi log và sinh lệnh bảo trì tự động - Đèn báo nhấp nháy đỏ liên tục, còi hú, UI hiện dòng:

		Hệ thống đang gặp sự cố nghiêm trọng – Yêu cầu kiểm tra lập tức !.
--	--	--

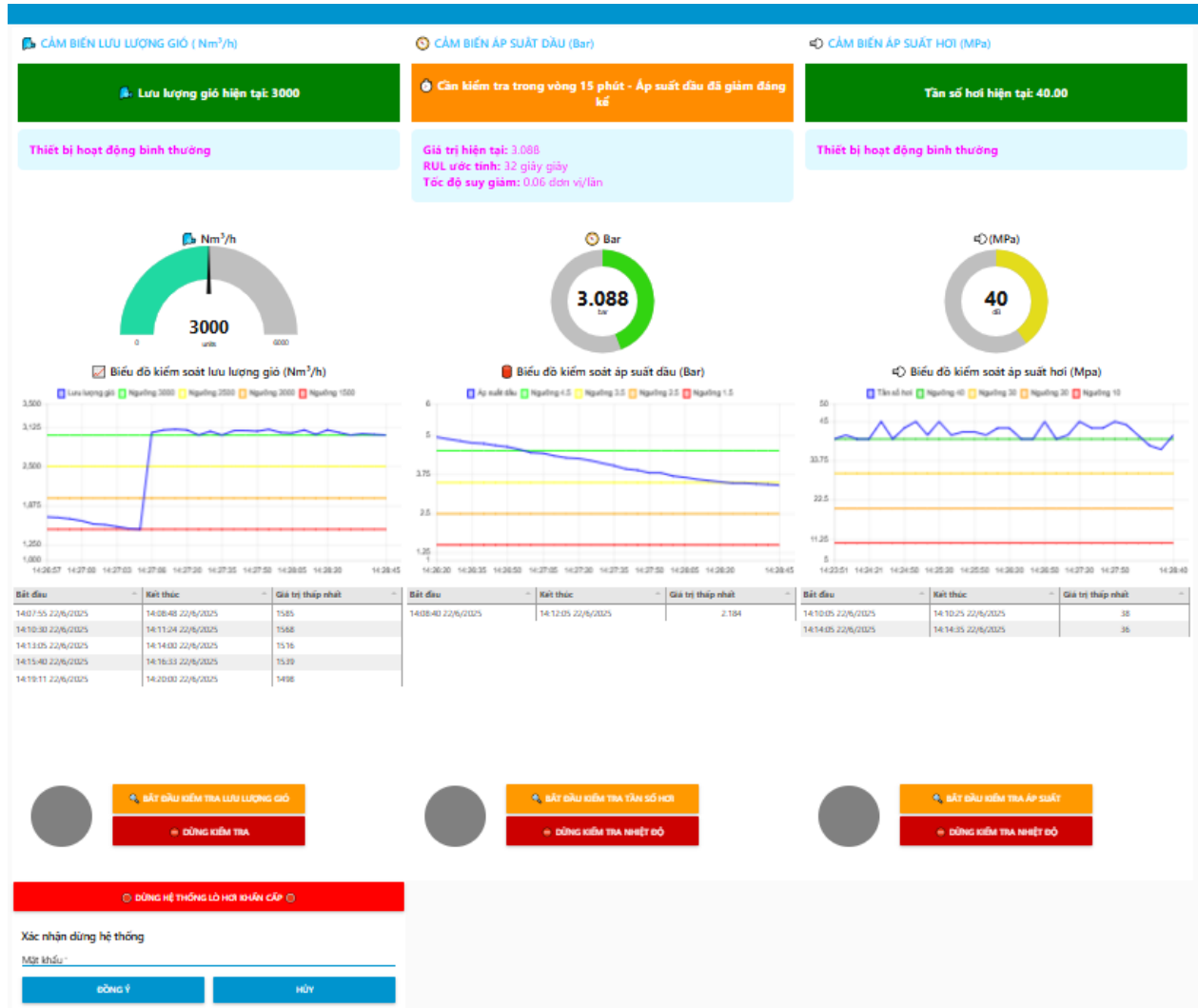
4.3.3.3 Minh họa cơ chế hoạt động của Node red: Áp dụng mô hình 3 tầng cảnh báo vào khu vực lò hơi

Thông qua Node-RED, dữ liệu cảm biến được thu thập liên tục, đưa vào các hàm xử lý logic (Function node), so sánh với ngưỡng cảnh báo và hiển thị dưới dạng giao diện trực quan (Dashboard). Sau đây là các node được thiết lập tham gia vào việc xây dựng mô hình.



Hình 4.3 Xây dựng các cơ sở dữ liệu cho cảm biến khu vực lò hơi

Sau khi được xây dựng thông qua các Node kết hợp với các dòng lệnh Java và công cụ hiển thị Dashboard ta có mô hình quản lý được hiển thị như sau:

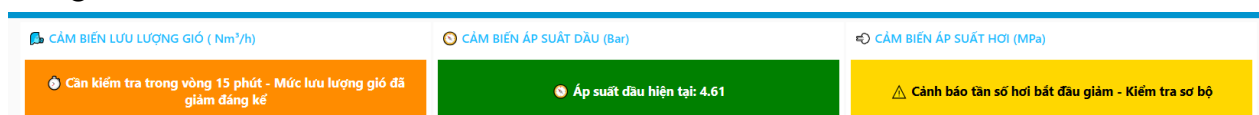


Hình 4.4 Giao diện hiển thị mô hình dự đoán trên phần mềm mô phỏng

Giao diện hiển thị gồm các phần cơ bản như sau

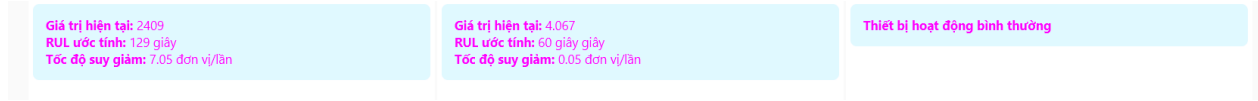
1 Khu vực hiển thị thông báo

Ở trên cùng là khu vực hiển thị thông báo trạng thái hoạt động của thiết bị thông qua việc hiển thị màu sắc (xanh-vàng-cam-đỏ) dựa trên các ngưỡng đã được thiết lập cùng với dòng thông báo cơ bản.

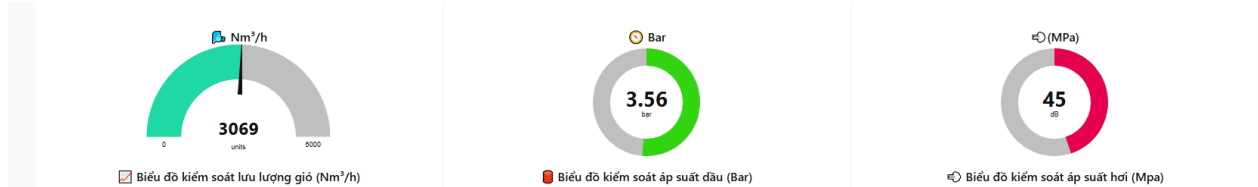


2 Khu vực tính toán RUL

Đây là khu vực dùng để tính toán RUL (thời gian còn lại cho đến khi dừng hệ thống) được tính toán trên mô hình suy ngưỡng.

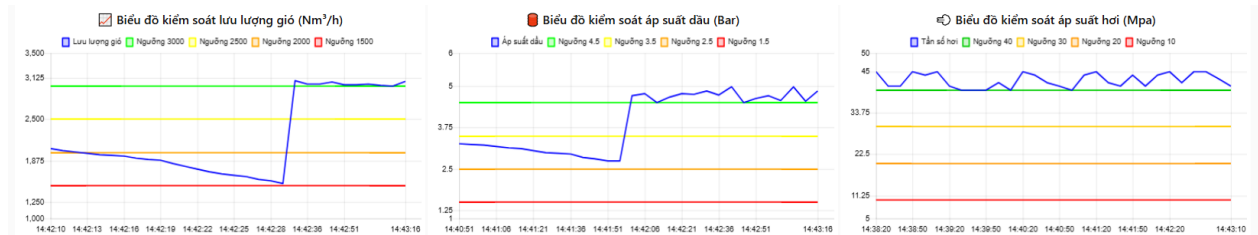


3 Khu vực hiển thị giá trị dữ liệu cảm biến thu thập được



4 Khu vực thể hiện biểu đồ Control chart

Biểu đồ ghi lại giá trị dữ liệu thu thập từ cảm biến và được biểu diễn dưới dạng đường cho thấy sự thay đổi các giá trị qua thời gian – kết hợp với các đường kẻ thể hiện các ngưỡng đã được thiết lập giúp người kiểm soát có thể nhanh chóng xác định được mức độ ảnh hưởng.



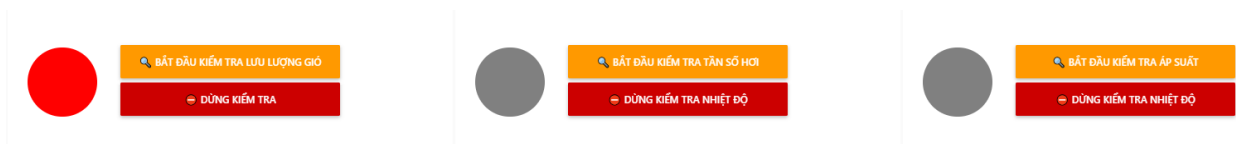
5 Khu vực ghi nhận giá trị thấp nhất của cảm biến

Một bảng gồm thời gian bắt đầu ghi nhận giá trị dưới ngưỡng và thời gian kết thúc khi trở lại giá trị bình thường cùng với giá trị cảm biến ghi nhận thấp nhất.

Bắt đầu	Kết thúc	Giá trị thấp nhất	Bắt đầu	Kết thúc	Giá trị thấp nhất	Bắt đầu	Kết thúc	Giá trị thấp nhất
14:07:55 22/6/2025	14:08:48 22/6/2025	1585	14:08:40 22/6/2025	14:12:05 22/6/2025	2.184	14:10:05 22/6/2025	14:10:25 22/6/2025	38
14:10:30 22/6/2025	14:11:24 22/6/2025	1568				14:14:05 22/6/2025	14:14:35 22/6/2025	36
14:13:05 22/6/2025	14:14:00 22/6/2025	1516						
14:15:40 22/6/2025	14:16:33 22/6/2025	1539						
14:19:11 22/6/2025	14:20:00 22/6/2025	1498						

6 Khu vực kích hoạt chế độ kiểm tra bán tự động (đèn – còi hú)

Đèn và còi hú có thể kích hoạt tự động khi đạt ngưỡng yêu cầu ngoài ra sẽ được kích hoạt bán tự động thông qua hai nút kiểm tra và dừng kiểm tra để người quản lý có thể tùy thời kích hoạt cho từng tình huống.



7 Khu vực dừng hệ thống khẩn cấp bán tự động

Chế độ này sẽ được kích hoạt tự động khi đạt ngưỡng đã được cài đặt sẵn và sẽ có thông báo 10s đếm ngược để người điều khiển có chấp nhận dừng hệ thống hay không, nếu qua 10s hệ thống không nhận được phản hồi thì sẽ tự động dừng hệ thống. Bên cạnh đó người điều khiển có thể dừng bất kỳ hệ thống nào thông qua việc xác nhận mật khẩu tại khu vực đó.

⊖ DỪNG HỆ THỐNG Lò HƠI KHẨN CẤP ⊕

Xác nhận dừng hệ thống

Mật khẩu *

ĐỒNG Ý

HỦY

4.3.3.4 Xây dựng chi tiết cho cảm biến lưu lượng gió tại khu vực lò hơi

Sau đây là quá trình mô phỏng hoạt động của việc thu thập dữ liệu cảm biến và được triển khai tính toán, xây dựng các mô hình trước khi triển khai thực tế.

Bảng 4.18 Thông số ngưỡng cho cảm biến đo lưu lượng gió

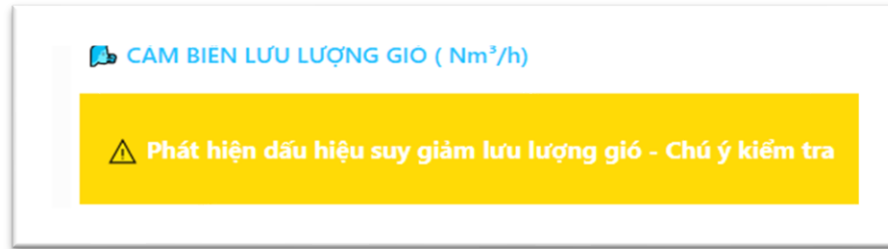
Hệ thống	Lỗi	Cảm biến	Thông số bình thường (Nm ³ /h)	Ngưỡng cảnh báo (Nm ³ /h)
Hệ thống lò hơi CFB	Sự cố tại nắm gió – không đảm bảo lưu lượng gió cấp	Cảm biến đo lưu lượng gió	3000 – 3100	Tầng 1: 2500 - 2999 Tầng 2: 2000 - 2500 Tầng 3: 1500 - 1999

Tầng 1: Cảnh báo nhẹ - Lưu lượng ở ngưỡng 2500-2999 Nm³/h

1.1 Thông báo trực quan trên Dashboard

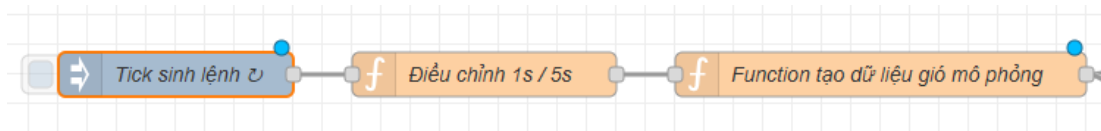
Đổi màu ô cảm biến sang vàng hiển thị dòng chữ như sau:

" ⚠ Phát hiện dấu hiệu suy giảm lưu lượng gió - Chú ý kiểm tra "



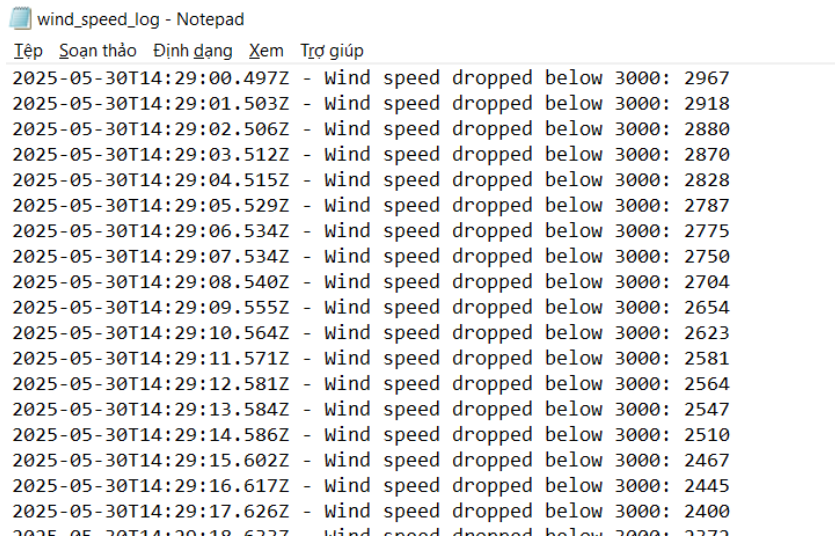
1.2 Tăng tần suất lấy mẫu dữ liệu.

Sử dụng hàm xử lý logic (Function node) để thiết lập điều kiện nếu cảm biến nhận được giá trị lưu lượng gió $< 3000 \text{ Nm}^3/\text{h}$ sẽ thực hiện tăng tần suất lấy mẫu từ 5s/lần lên 1s/lần



1.3 Lưu log dữ liệu vào file

Nếu việc giảm ngưỡng lưu lượng gió ở mức 1 duy trì trong vòng 5 phút) một file lưu lại dữ liệu sẽ được sinh ra.



Tầng 2 – Cảnh báo trung bình – Lưu lượng gió ở ngưỡng 2000 -2499 Nm^3/h

2.1 - Màu Dashboard đổi sang cam - dòng chữ

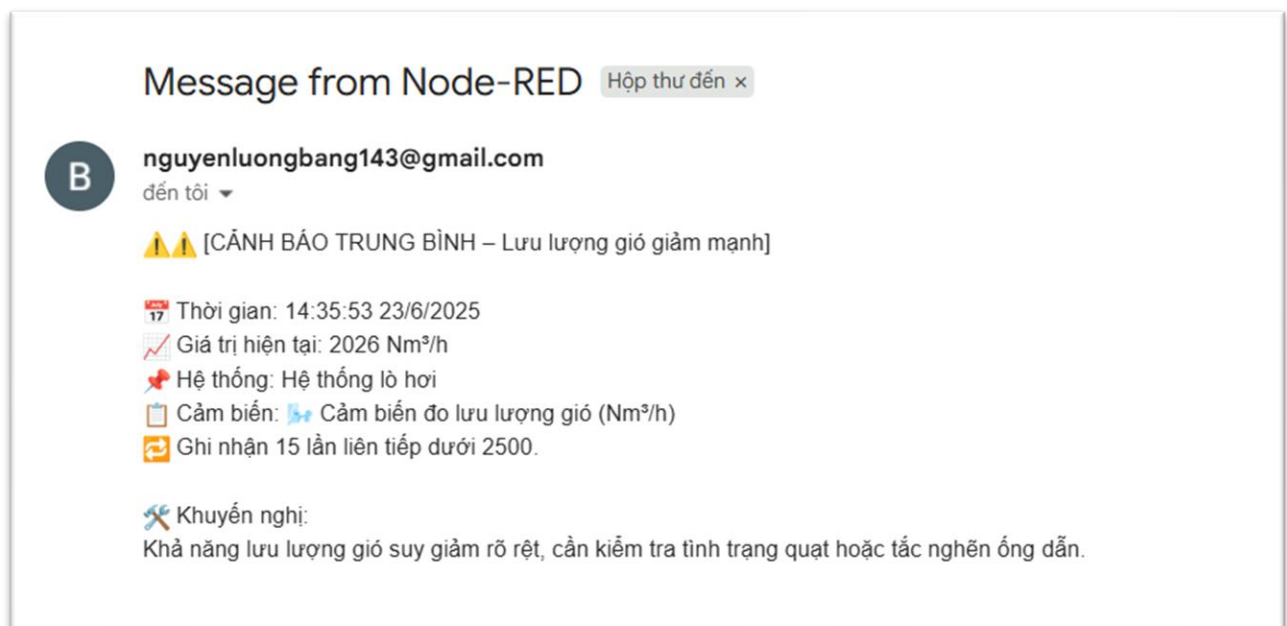
" ⚠ Cần kiểm tra trong vòng 15 phút – Mức lưu lượng gió đã giảm đáng kể! "



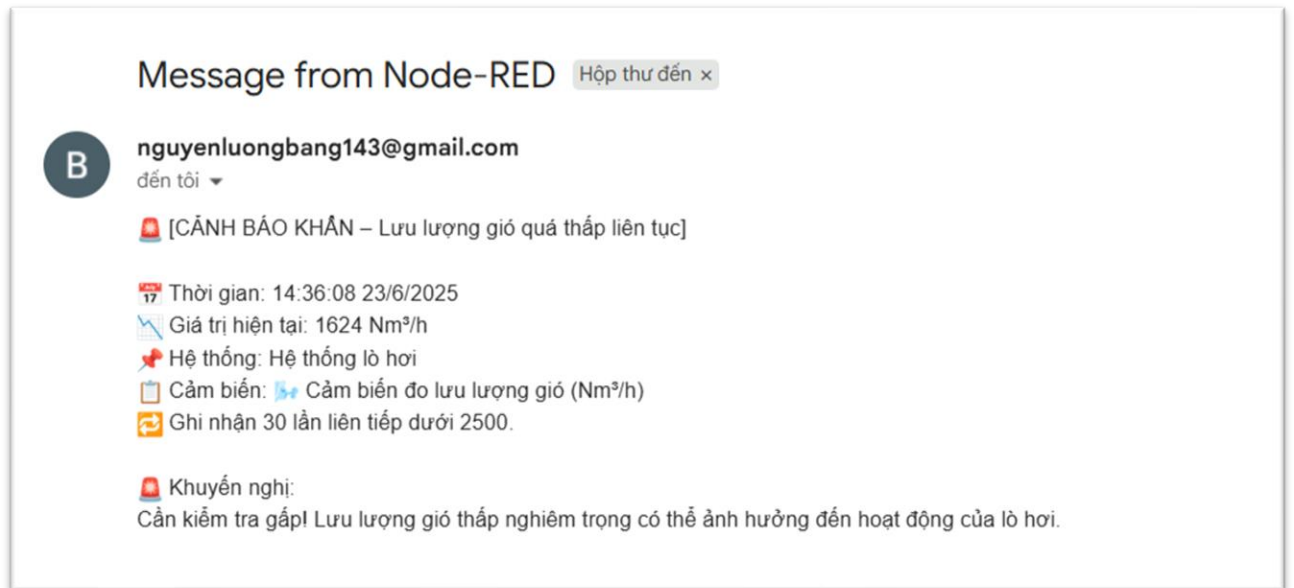
2.2 Gửi cảnh báo qua Email kèm mô tả chi tiết và giá trị hiện tại.

Cảnh báo cấp 2 được xem là mức nghiêm trọng, khi các thông số cảm biến vượt ngưỡng cho phép nhưng chưa đến mức gây nguy cơ hư hỏng ngay lập tức. Khi phát hiện cảnh báo cấp 2, hệ thống sẽ gửi Email và thông báo đến các kỹ thuật viên và trưởng ca để tiến hành kiểm tra sớm và lập kế hoạch bảo trì.

Với điều kiện gửi thông báo khi xác nhận thấy ngưỡng cảm biến thu được dưới 2500 sẽ có một thông báo gmail được gửi đi ngay lập tức. Sau khoản 15 lần sinh dữ liệu nếu vẫn ghi nhận ngưỡng dưới 2500 thì sẽ có một thông báo tiếp theo được gửi đi.

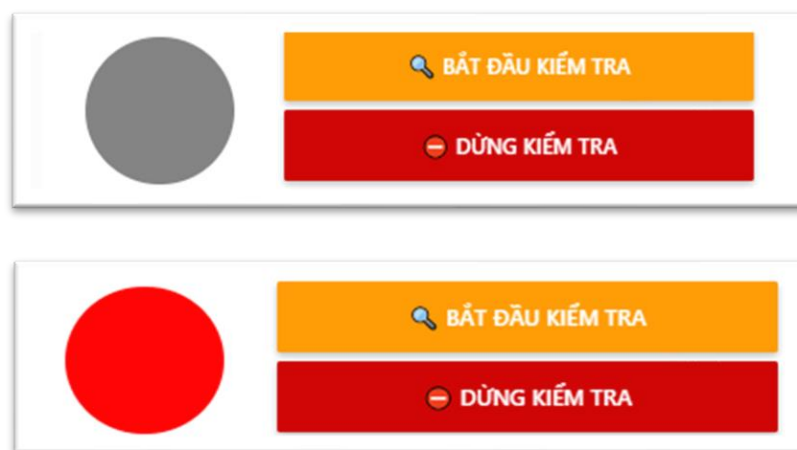


Ngoài ra nếu nhận thấy lưu lượng gió dưới ngưỡng 2500 liên tục trong khoảng thời gian 30 lần sinh dữ liệu thì một thông báo khẩn nữa sẽ được gửi đi.



2.3 Kích hoạt kiểm tra bán tự động

Hiện thị nút “Bắt đầu kiểm tra – Dừng kiểm tra” cho kỹ thuật viên - Đồng thời bật còi/đèn chớp nhẹ bằng gpio, buzzer trong 3 phút được đặt tại khu vực hệ thống cảm biến. Chớp đỏ liên tục trong 3 phút và kết thúc. Với điều kiện kích hoạt tự động là khi ghi nhận 300 lần sinh dữ liệu dưới 2500 hoặc người quản lý có thể trực tiếp kích hoạt khi nhấn vào lệnh “ Bắt đầu kiểm tra” trên hệ thống và dừng thủ công ngay lập tức khi nhấn vào lệnh “Dừng kiểm tra”.



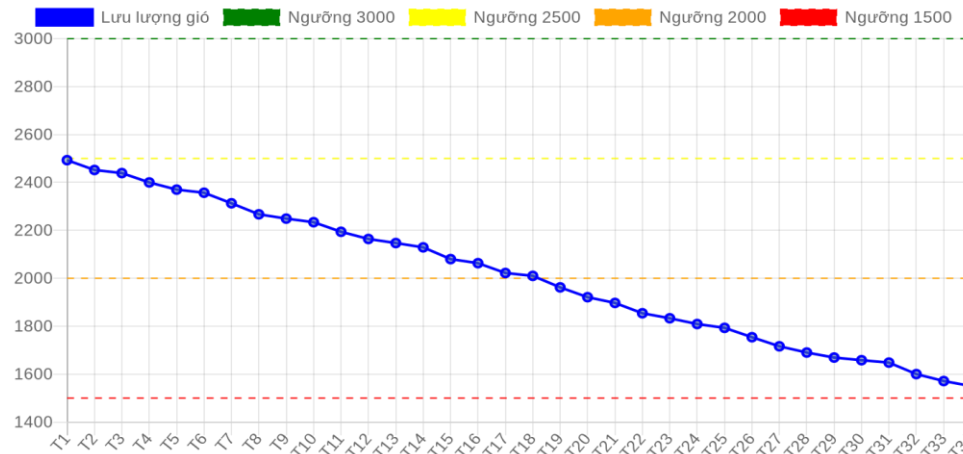
2.4 Ghi log dữ liệu kết hợp tự động lưu dữ liệu hiện tại và biểu diễn thành sơ đồ

Hệ thống được thiết kế để tự động ghi nhận các giá trị đo được tại thời điểm thực từ cảm biến đo lưu lượng gió dưới dạng cấu trúc CSV, sau đó lưu trữ vào file nội bộ hoặc cơ sở dữ liệu theo thời gian thực. Qua quá trình tích lũy này, dữ liệu được xử lý và biểu diễn

lại dưới dạng sơ đồ thể hiện xu hướng suy giảm (degradation trend), giúp người quản lý dễ dàng nhận biết sự xuống cấp dần của thiết bị theo thời gian.

Bên cạnh đó, dữ liệu thu thập sẽ được biểu diễn trực quan dưới dạng sơ đồ giúp người vận hành dễ dàng theo dõi sự thay đổi của các thông số.

Với điều kiện bắt đầu ghi là khi giá trị lưu lượng gió ghi nhận < 2500 và sẽ ghi lại cho đến khi ghi nhận giá trị lưu lượng gió đạt giá trị bình thường. File sẽ được lưu tại thư mục tạo sẵn và có tên như sau năm tháng ngày _ giờ phút giây (20250606_084539).

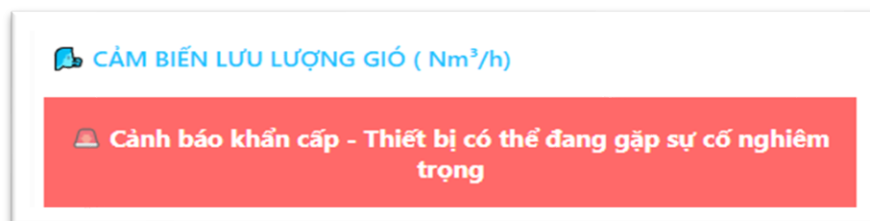


Hình 4.5 Biểu đồ lịch sử được lưu lại khi ghi nhận giá trị trong vùng thiết lập

Tầng 3 – Cảnh báo nghiêm trọng – Lưu lượng gió ở ngưỡng 1500 -1999 Nm³/h

3.1 Đèn báo nhấp nháy đỏ liên tục, còi hú, UI hiện dòng chữ cảnh báo

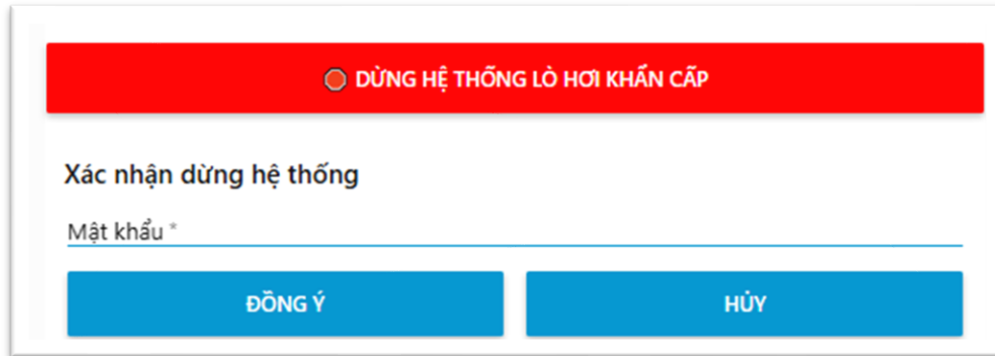
"🚨 Cảnh báo khẩn cấp - Thiết bị có thể đang gặp sự cố nghiêm trọng"



3.2 Tự động tắt thiết bị nguy hiểm

Hệ thống sẽ tự động kích hoạt chế độ dừng tự động nếu lưu lượng gió dưới ngưỡng 1500 liên tục trong 20 lần sinh dữ liệu. Một thông báo đếm ngược 10s trước khi tự động tắt hệ thống được xuất hiện để người quản lý có thể chấp nhận hoặc hủy bỏ điều kiện này.

Bên cạnh đó cũng có thể tắt máy thủ công bằng nút lệnh “Dừng hệ thống khẩn cấp” và nhập đúng mật khẩu được cài đặt.



3.3 Gửi cảnh báo khẩn cấp đến quản lý cấp cao (Email khẩn, Telegram khẩn, SMS nếu cần).

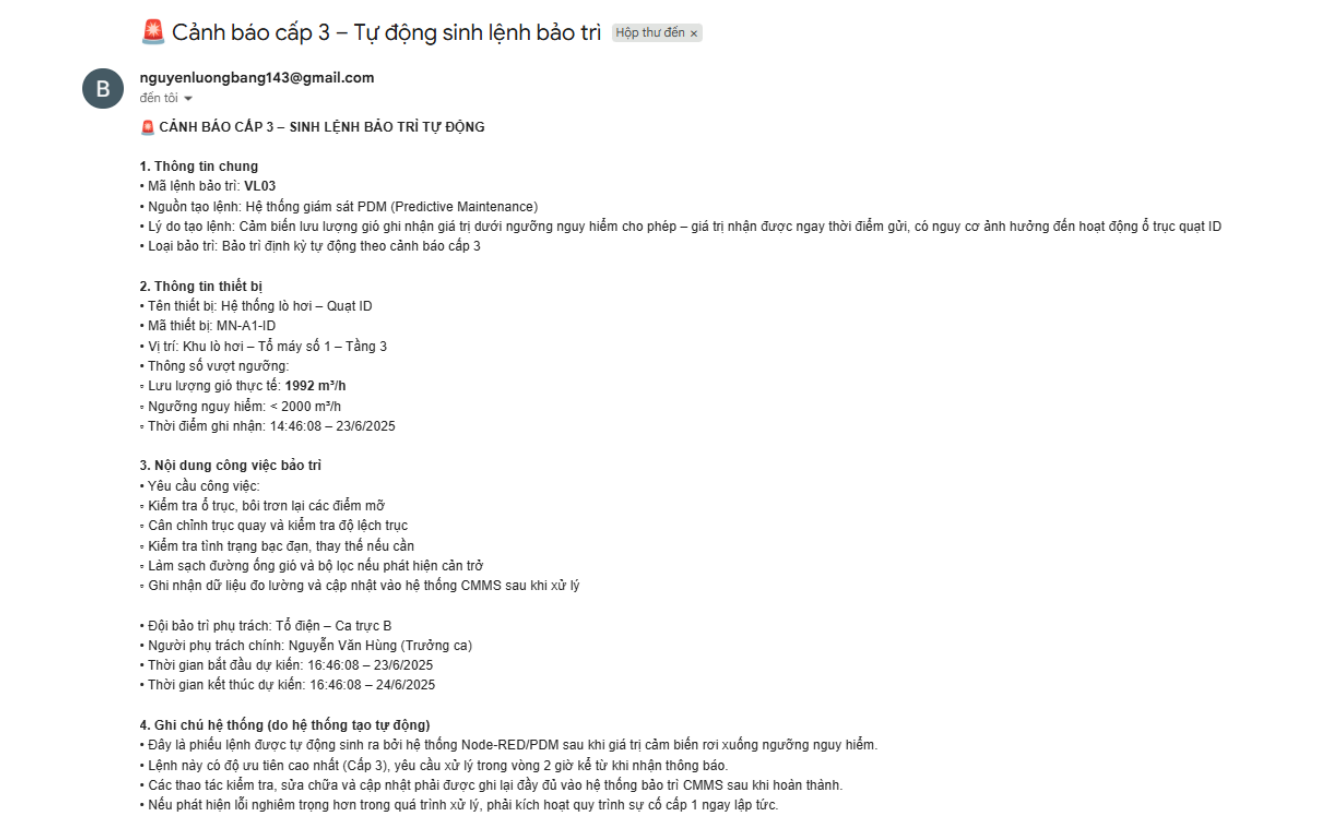
Cảnh báo cấp 3 là mức khẩn cấp, xảy ra khi dữ liệu cảm biến cho thấy thiết bị có nguy cơ cao xảy ra sự cố nghiêm trọng hoặc hỏng hóc tức thời nếu không xử lý. Lúc này, hệ thống sẽ kích hoạt cảnh báo SMS khẩn cấp, khác với SMS cấp 2 ở nội dung cảnh báo rõ ràng và mạnh mẽ hơn, gửi đến quản lý cấp cao như giám sát kỹ thuật, trưởng phòng hoặc giám đốc vận hành. Thông điệp được nhấn mạnh với cụm từ như “KHẨN CẤP” và có thể được lặp lại định kỳ nếu không có phản hồi xử lý, nhằm đảm bảo không bỏ sót sự cố nguy hiểm. Đồng thời, cảnh báo cấp 3 sẽ đi kèm với lệnh bảo trì tự động và ghi log vào hệ thống, giúp kiểm soát toàn bộ vòng đời của sự cố.

3.4 Ghi log và sinh lệnh bảo trì tự động

Khi thiết bị gặp lỗi nghiêm trọng (cảnh báo cấp 3), hệ thống không chỉ gửi cảnh báo khẩn cấp mà còn phải tự động tạo ra một lệnh công việc yêu cầu bảo trì khẩn cấp, thay vì chờ người vận hành phát hiện và tạo lệnh thủ công.

Lệnh này chứa thông tin về thiết bị, lỗi, yêu cầu xử lý, mức độ ưu tiên và trạng thái. Các lệnh này được lưu trữ và gửi đến hệ thống quản lý bảo trì nhằm đảm bảo phản ứng kịp thời và có tổ chức. Việc sinh lệnh tự động giúp rút ngắn thời gian phản hồi, tránh bỏ sót lỗi và hỗ trợ thực hiện bảo trì dự báo chính xác, hiệu quả hơn.

Lệnh bảo trì tự động được hệ thống gửi đến tổ bảo trì kỹ thuật, trưởng ca và quản lý kỹ thuật tùy theo cấu hình, thông qua các hình thức như: lưu trữ file JSON nội bộ, gửi đến hệ thống quản lý bảo trì CMMS qua API, gửi Email và Telegram nội bộ.



Hình 4.6 Bảng ghi lệnh bảo trì tự động

b. Mô hình tính toán RUL

Bảng 4.19 So sánh các mô hình tính toán RUL

STT	Mô hình	Mô tả	Ưu điểm	Nhược điểm
1	Mô hình thống kê (Statistical Models)	Dựa trên các phân phối thống kê như Weibull, Exponential, Linear Regression...	Đơn giản, dễ tích hợp	Độ chính xác thấp nếu dữ liệu không tuyến tính
2	Mô hình học máy (Machine Learning)	SVM, Random Forest, XGBoost... dự đoán RUL từ dữ liệu cảm biến	Hiệu quả cao, không cần hiểu rõ cơ chế hỏng hóc	Cần dữ liệu huấn luyện lớn, nặng tài nguyên
3	Mô hình học sâu (Deep Learning)	LSTM, CNN, RNN cho dữ liệu thời gian	Rất mạnh với dữ liệu chuỗi thời gian	Yêu cầu GPU, phức tạp, không dùng được trên

				Node-RED trực tiếp
4	Mô hình degradation + threshold (suy giảm + ngưỡng)	Theo dõi xu hướng suy giảm → tính thời điểm vượt ngưỡng	Đơn giản, dễ tích hợp Node-RED	Phụ thuộc vào định nghĩa đúng "ngưỡng" hỏng

Mô hình phù hợp nhất để tính toán RUL trên Node-RED

Khi áp dụng bảo trì dự đoán (Predictive Maintenance) trên nền tảng Node-RED, việc lựa chọn mô hình phù hợp để tính toán RUL (Remaining Useful Life – thời gian sử dụng còn lại) là yếu tố then chốt nhằm đảm bảo tính khả thi, độ chính xác và hiệu suất vận hành hệ thống giám sát. Trong số nhiều mô hình RUL hiện nay, bao gồm cả các mô hình thống kê, học máy (machine learning), học sâu (deep learning), và mô hình dựa trên suy giảm (degradation-based), thì mô hình suy giảm + ngưỡng (Degradation + Threshold) được đánh giá là lựa chọn phù hợp nhất để triển khai trong Node-RED vì nhiều lý do cụ thể.

Đầu tiên, Node-RED là một nền tảng mã nguồn mở nhẹ, hoạt động tốt trên các thiết bị IoT như Raspberry Pi, PLC, hoặc máy tính nhúng. Do đó, những mô hình phức tạp như mạng nơ-ron hồi tiếp (LSTM) hay rừng ngẫu nhiên (Random Forest) trong học máy hoặc học sâu thường không thể chạy trực tiếp trên Node-RED mà phải tích hợp thêm hệ thống bên ngoài như Python, TensorFlow, hoặc dịch vụ đám mây. Điều này khiến việc triển khai phức tạp hơn, làm giảm tính tự chủ và tăng chi phí bảo trì.

Ngược lại, mô hình suy giảm + ngưỡng rất nhẹ, đơn giản và dễ dàng tích hợp hoàn toàn trong Node-RED thông qua các node function thuần JavaScript. Nguyên lý hoạt động của mô hình này là theo dõi giá trị cảm biến của thiết bị (tính toán tốc độ suy giảm của giá trị này theo thời gian (slope), sau đó ước lượng thời điểm mà giá trị sẽ đạt đến ngưỡng được xem là "hỏng hóc" hoặc "quá ngưỡng cho phép". Từ đó, RUL được xác định bằng cách:

$$\text{RUL} = (\text{Giá trị hiện tại} - \text{Ngưỡng nguy hiểm}) / \text{tốc độ suy giảm trung bình}$$

Mô hình này không chỉ dễ cài đặt mà còn cho kết quả trực quan, dễ hiểu và phù hợp với logic vận hành của các nhà máy thực tế. Người dùng có thể tùy ý thay đổi ngưỡng nguy hiểm tùy vào đặc tính thiết bị và điều kiện môi trường. Việc triển khai chỉ cần sử dụng node inject để lấy mẫu dữ liệu liên tục, node function để tính toán tốc độ suy giảm và RUL, node

dashboard để hiển thị kết quả, hoặc node email/mqtt để gửi cảnh báo khi RUL xuống dưới ngưỡng cảnh báo.

Example: Áp dụng mô hình RUL vào cảm biến đo lưu lượng gió trong hệ thống lò hơi

Điều kiện tính toán: Thông số RUL sẽ được bắt đầu tính toán khi ghi nhận giá trị lưu lượng gió dưới ngưỡng cho phép (<3000)

Ở trạng thái bình thường khi lưu lượng gió ghi nhận ổn định khu vực tính toán RUL sẽ hiện bảng thông báo như sau:

Thiết bị hoạt động bình thường

Ở trạng thái tính toán: Khi ghi nhận dữ liệu <3000 mô hình sẽ thu thập mẫu 5 lần sinh dữ liệu để tính trung bình tốc độ suy giảm. Sau đó áp dụng công thức $RUL = (Giá\ trị\ hiện\ tại - Ngưỡng\ nguy\ hiểm) / tốc\ độ\ suy\ giảm\ trung\ bình$. Trong đó

- Giá trị hiện tại là giá trị ghi nhận liên tục từ cảm biến
- Ngưỡng nguy hiểm được thiết lập là 1500
- Tốc độ suy giảm là trung bình của 5 lần thu thập

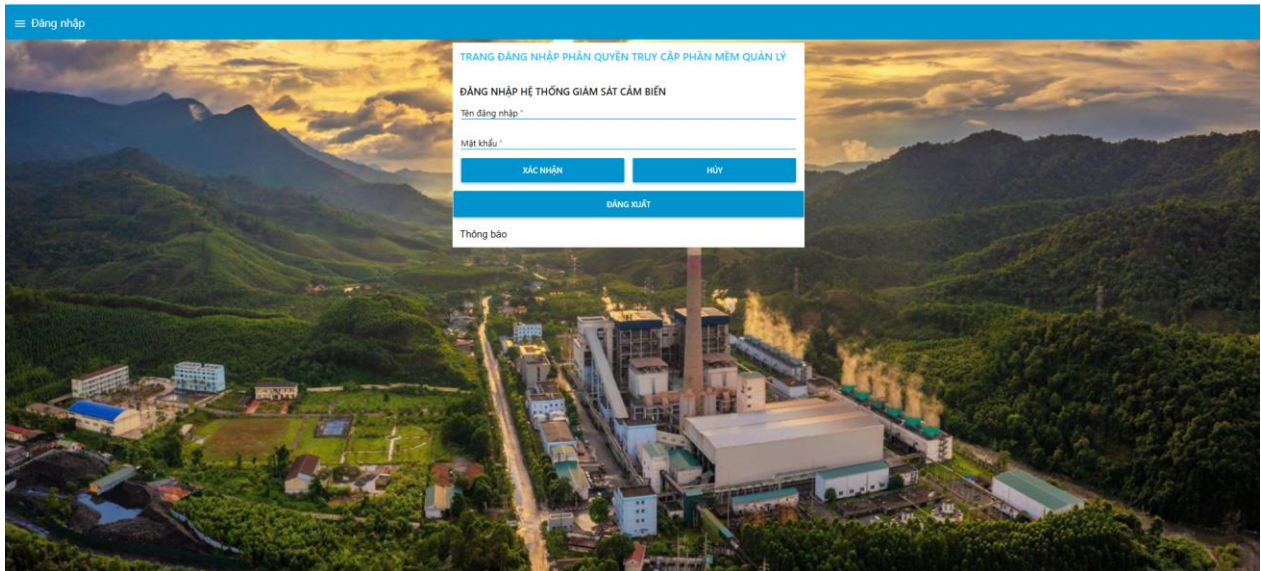
Giá trị hiện tại: 1755
RUL ước tính: 49 giây
Tốc độ suy giảm: 5.25 đơn vị/lần

c. Các chức năng khác

c.1 Chức năng phân quyền trung cấp

Chức năng phân quyền truy cập trong Node-RED là một tính năng quan trọng giúp kiểm soát người dùng được phép truy cập và tương tác với từng phần cụ thể của hệ thống, đặc biệt là trong các ứng dụng công nghiệp như nhà máy điện than. Việc phân quyền đảm bảo rằng mỗi người dùng chỉ có thể xem và điều khiển các khu vực phù hợp với vai trò và trách nhiệm của họ, góp phần nâng cao bảo mật và hiệu quả quản lý hệ thống.

Trong ví dụ cụ thể, hệ thống Node-RED được triển khai gồm ba tab chính: hệ thống lò hơi, hệ thống khói gió, và hệ thống cấp than. Tính năng phân quyền được áp dụng để chỉ cho phép người dùng với các quyền hạn khác nhau truy cập đúng khu vực được giao. Chẳng hạn, tài khoản Admin với mật khẩu mặc định là "1234" có thể truy cập và giám sát toàn bộ cả ba hệ thống. Trong khi đó, tài khoản KTV chỉ có quyền truy cập vào tab “Hệ thống khói gió”, và tài khoản GS chỉ có thể làm việc với tab “Hệ thống cấp than”.

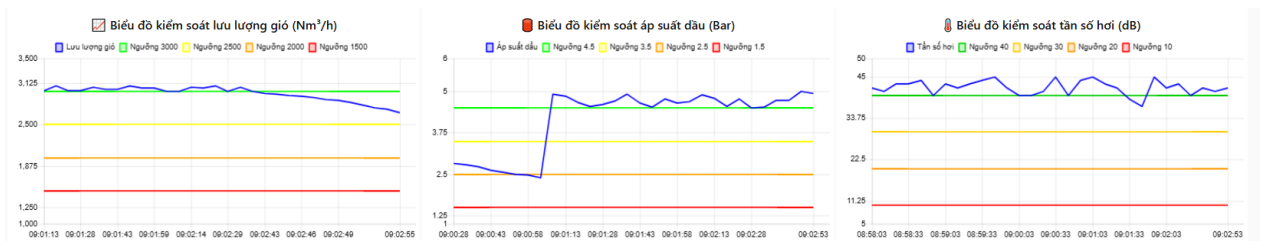


Hình 4.6 Giao diện đăng nhập phân quyền truy cập

c.2 Biểu đồ Control chart

Biểu đồ kiểm soát (Control Chart) là một công cụ đồ họa dùng để giám sát sự thay đổi của một quá trình theo thời gian, từ đó phát hiện sự bất thường hoặc sai lệch ngoài giới hạn kiểm soát. Biểu đồ gồm một đường trung bình (Mean), hai đường giới hạn kiểm soát trên (UCL - Upper Control Limit) và dưới (LCL - Lower Control Limit). Khi các điểm dữ liệu nằm trong giới hạn kiểm soát và không có xu hướng bất thường, quá trình được xem là ổn định. Công cụ này thường dùng trong kiểm soát chất lượng, bảo trì dự báo và phát hiện lỗi sớm trong sản xuất.

Dưới đây là việc áp dụng biểu đồ control chart trong việc giám sát các dữ liệu thu thập được



Hình 4.7 Biểu đồ Control chart trong hệ thống lò hơi

Biểu đồ đầu tiên theo dõi lưu lượng gió trong hệ thống theo thời gian. Đường màu xanh biểu diễn giá trị đo thực tế của lưu lượng gió, trong khi các đường ngang màu vàng, cam, đỏ biểu thị các ngưỡng giới hạn: 3000, 2500, 2000 và 1500 Nm³/h. Từ dữ liệu, ta thấy

lưu lượng gió ban đầu ổn định trên mức 3000, nhưng sau đó có xu hướng giảm nhẹ, tiến gần đến ngưỡng 2500. Biểu đồ này giúp phát hiện sớm hiện tượng giảm lưu lượng gió mà đưa ra các phản ứng nhanh chóng và phù hợp

Biểu đồ thứ hai theo dõi áp suất dầu trong hệ thống, thể hiện bằng đường màu xanh lam. Các ngưỡng kiểm soát được đặt ở các mức: 4.5, 3.5, 2.5 và 1.5 Bar. Ta có thể quan sát thấy một bước nhảy đột ngột tăng áp suất tại mốc thời gian khoảng 09:01:13, sau đó ổn định quanh ngưỡng 4.0 - 4.5 Bar. Điều này có thể phản ánh sự thay đổi chế độ vận hành hoặc quá trình nạp dầu. Biểu đồ giúp cảnh báo nếu áp suất vượt hoặc giảm dưới ngưỡng cho phép, tránh nguy cơ cháy nổ hoặc mất áp.

Biểu đồ thứ ba thể hiện tần số hơi, với các ngưỡng kiểm soát tại 40, 30, 20 và 10 dB. Dữ liệu dao động quanh mức 42–45 dB, gần với giới hạn 40 dB, nhưng vẫn nằm trong phạm vi ổn định. Sự dao động nhỏ cho thấy quá trình vận hành tương đối ổn định.

4.4 Nâng cao độ chính xác của ngưỡng cảnh báo trong mô hình bảo trì dự báo

Trong mô hình bảo trì dự báo đã xây dựng trên nền tảng Node-RED, các cảnh báo được phân chia thành 3 tầng dựa trên mức độ vượt ngưỡng của các thông số cảm biến như lưu lượng gió, áp suất, nhiệt độ... Tuy nhiên, độ chính xác của các cảnh báo phụ thuộc rất lớn vào việc xác định đúng ngưỡng giới hạn. Nếu ngưỡng quá thấp, hệ thống dễ đưa ra cảnh báo giả, gây phiền toái và bảo trì dư thừa. Ngược lại, nếu ngưỡng quá cao hoặc không phù hợp, có thể bỏ sót những dấu hiệu suy giảm tiềm ẩn, dẫn đến sự cố nghiêm trọng. Do đó, đề tài đã kết hợp ba phương pháp nâng cao độ chính xác của ngưỡng cảnh báo: phân tích dữ liệu lịch sử, áp dụng ngưỡng động thích nghi và sử dụng học máy (machine learning).

Phương pháp đầu tiên là phân tích dữ liệu lịch sử. Các thông số cảm biến được thu thập trong nhiều tuần hoặc nhiều tháng được phân tích bằng công cụ Python để xác định giá trị trung bình và độ lệch chuẩn trong trạng thái bình thường. Đồng thời, các mẫu dữ liệu trước và trong thời điểm xảy ra sự cố cũng được khai thác để tìm ra mốc giá trị bất thường có tính lặp lại. Từ đó, đề tài thiết lập ngưỡng tầng 1, 2 và 3 dựa trên khoảng cách từ trung bình $\pm$ độ lệch chuẩn (ví dụ: tầng 1 vượt 1σ , tầng 2 vượt 2σ , tầng 3 vượt 3σ). Cách làm này giúp xác định các ngưỡng ban đầu sát thực tế, phản ánh đúng hành vi vận hành của từng thiết bị.

Tiếp theo, để ngưỡng không bị cố định mà có thể thích nghi với điều kiện vận hành thời gian thực, đề tài áp dụng ngưỡng động. Cụ thể, hệ thống Node-RED sử dụng node

function để tính toán trung bình và độ lệch chuẩn trong một cửa sổ dữ liệu gần nhất (50 mẫu gần nhất). Từ đó, ngưỡng cảnh báo được điều chỉnh liên tục theo thời gian. Điều này đặc biệt hữu ích khi thiết bị vận hành trong môi trường thay đổi (mùa nắng và mùa mưa), hoặc khi điều kiện tải không ổn định. Nhờ cơ chế ngưỡng động, hệ thống trở nên linh hoạt hơn và giảm thiểu các cảnh báo sai lệch do biến động tự nhiên trong quá trình vận hành.

Cuối cùng, đề tài kết hợp thêm mô hình học máy để hỗ trợ xác minh các cảnh báo quan trọng. Một số trường hợp, giá trị cảm biến có thể vượt ngưỡng do các yếu tố không nguy hiểm (như khởi động lại thiết bị hoặc thay đổi tải tức thời), gây ra cảnh báo không cần thiết. Để xử lý, đề tài sử dụng thuật toán học máy như Isolation Forest hoặc Random Forest được huấn luyện bằng các đặc trưng như rung động, nhiệt độ, dòng điện và thời gian hoạt động.... Mô hình ML này được tích hợp vào Node-RED thông qua node exec, nhận dữ liệu đầu vào từ các cảm biến và đưa ra kết luận: bình thường, cảnh báo, hoặc nguy hiểm. Hệ thống chỉ kích hoạt tầng 1 hoặc tầng 2 nếu mô hình ML cũng xác nhận hành vi bất thường. Riêng tầng 3 vẫn giữ nguyên, vì độ nghiêm trọng cao yêu cầu phải hành động ngay lập tức.

Việc kết hợp cả ba phương pháp – từ xác định ngưỡng ban đầu bằng thống kê, cập nhật ngưỡng theo thời gian thực, đến xác minh thông minh bằng học máy – giúp mô hình cảnh báo 3 tầng trong Node-RED trở nên chính xác, linh hoạt và đáng tin cậy hơn. Nhờ đó, mô hình không chỉ phát hiện sự cố sớm, mà còn tránh những phản ứng sai lệch, hỗ trợ kỹ thuật viên đưa ra quyết định bảo trì đúng lúc và đúng cách.

CHƯƠNG V ĐÁNH GIÁ KẾT QUẢ ĐẠT ĐƯỢC

5.1 Phân tích sự thay đổi các chỉ số bảo trì

Trong phần này, các kết quả đạt được từ mô hình bảo trì dự báo sẽ được đánh giá và so sánh với phương pháp bảo trì định kỳ truyền thống thông qua năm chỉ số kỹ thuật quan trọng: Tỷ lệ hư hỏng, MTBF, MDT, A% (Độ sẵn sàng) và R% (Độ tin cậy). Những chỉ số này phản ánh mức độ ổn định, độ tin cậy và khả năng sẵn sàng vận hành của thiết bị trong hệ thống. Cụ thể, tỷ lệ hư hỏng cho biết tần suất xảy ra sự cố trong một đơn vị thời gian; MTBF đo lường khoảng thời gian trung bình giữa hai lần hỏng hóc; MDT thể hiện thời gian trung bình cần để sửa chữa thiết bị sau khi hỏng; A% đánh giá khả năng thiết bị có thể sẵn sàng hoạt động, phụ thuộc vào MTBF và MDT; còn R% xác suất hệ thống hoạt động bình thường trong một khoảng thời gian nhất định. Việc so sánh các chỉ số này giữa hai phương pháp bảo trì sẽ làm rõ những cải tiến mà mô hình bảo trì dự báo mang lại về mặt hiệu suất, độ tin cậy và khả năng vận hành liên tục của thiết bị.

Bảng 5.1 Phân tích những lợi ích đạt được khi triển khai mô hình thực tế

Chỉ số đánh giá	Dẫn chứng trực tiếp từ mô hình đã xây dựng	Lợi ích cụ thể khi triển khai thực tế	Mức độ cải thiện khi áp dụng
1. Tỷ lệ hư hỏng	- Các cảm biến ghi nhận các thông số liên tục giúp quá trình ghi nhận vượt ngưỡng diễn ra sớm hơn - Cảnh báo tầng 1 kích hoạt: hiển thị Dashboard, log file, tăng tần suất mẫu.	- Phát hiện sớm dấu hiệu bất thường, giảm nguy cơ hư hỏng đột xuất. - Giảm chi phí sửa chữa lớn và tổn thất sản xuất do ngừng hoạt động không kế hoạch. - Giảm thiểu rủi ro cho các thiết bị quan trọng nhờ giám sát chủ động.	- Giảm 15 - 50% số lượng hư hỏng không báo trước.

2. MTBF	- Dữ liệu cảm biến liên tục, giám sát 24/7 giúp phân tích chu kỳ sống thiết bị. - Có RUL → lập kế hoạch thay thế trước khi hỏng.	- Kéo dài thời gian giữa 2 lần hỏng thiết bị, duy trì hoạt động ổn định. - Bảo trì theo tình trạng thực tế thay vì theo thời gian định kỳ → tối ưu chi phí. - Hạn chế gián đoạn không kế hoạch trong dây chuyền sản xuất.	- Tăng 15 - 40% thời gian giữa 2 lần hư hỏng.
3. MDT	- Khi cảnh báo tầng 2 & 3 kích hoạt → kỹ thuật viên nhận cảnh báo từ xa (Telegram, Email), lệnh bảo trì tự sinh. - Giao diện hiển thị rõ lỗi + snapshot dữ liệu liên quan.	- Kỹ thuật viên nắm được thông tin từ xa, chuẩn bị sẵn phương án xử lý trước khi đến hiện trường. - Rút ngắn thời gian chuẩn đoán và sửa lỗi → giảm thời gian dừng máy. - Hạn chế tổn thất do thiết bị không hoạt động kéo dài.	- Giảm 25 - 45% thời gian dừng máy trung bình.
4. Độ sẵn sàng	- Hệ thống Dashboard luôn hiển thị trạng thái: Xanh (bình thường), Vàng/Cam (cảnh báo), Đỏ (nghiêm trọng). - Không cần kiểm tra thủ công cảm biến.	- Hệ thống luôn duy trì trạng thái hoạt động sẵn sàng cao nhờ phát hiện – xử lý lỗi sớm. - Giảm lãng phí nguồn lực do bảo trì định kỳ dư thừa. - Nâng cao hiệu suất sử dụng thiết bị, tối ưu lịch	- Tăng đến 6% độ sẵn sàng hệ thống.

		vận hành và phân công nhân lực.	
5. Độ tin cậy	- Biểu đồ kiểm soát hiển thị giá trị vượt ngưỡng + xu hướng suy giảm rõ ràng. - RUL được tính toán liên tục giúp dự đoán độ tin cậy còn lại.	- Tăng độ tin cậy hệ thống, đặc biệt với các thiết bị quan trọng như lò hơi, khói gió, cấp than. - Hỗ trợ lập kế hoạch thay thế và nâng cấp thiết bị chủ động, đúng thời điểm. - Tránh bảo trì quá sớm (lãng phí) hoặc quá trễ (rủi ro lớn, dễ hỏng chuỗi thiết bị liên đới).	- Tăng 15 - 40% độ tin cậy toàn hệ thống

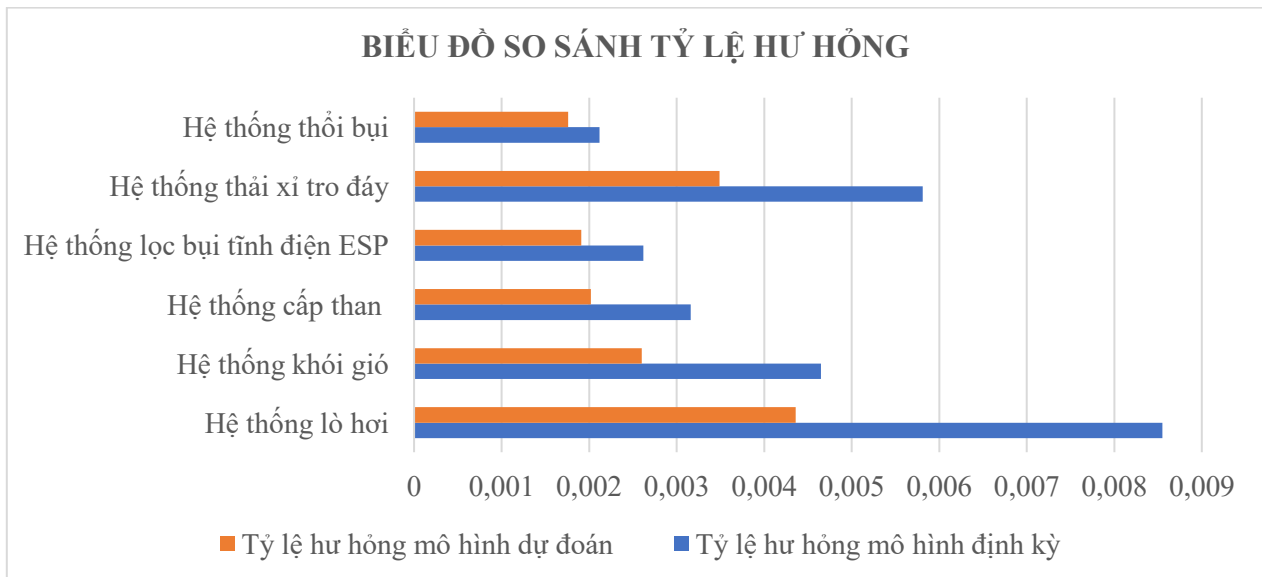
5.2 Kết quả khi áp dụng mô hình

Bảng 5.2 Các chỉ số hệ thống khi áp dụng mô hình cũ

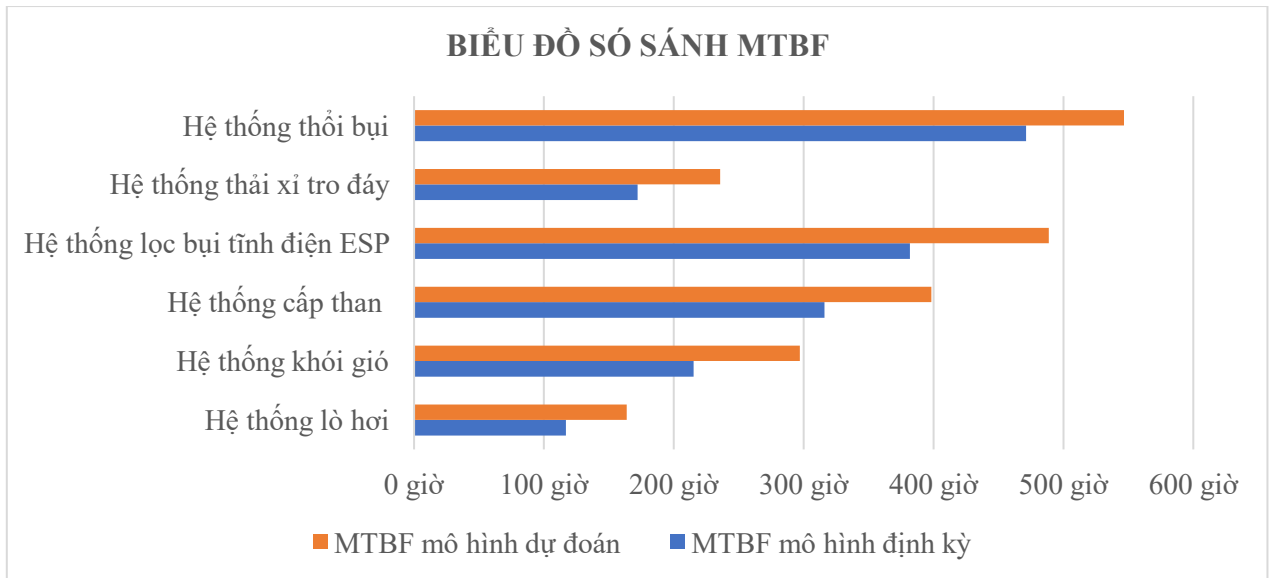
STT	Hệ thống	Tỷ lệ hư hỏng	MTBF	MDT	A(%)	R(%)
1	Hệ thống lò hơi	0,00855	116,917	14,833	88.7	9.3
2	Hệ thống khói gió	0,00465	215,185	19,037	91.9	27.5
3	Hệ thống cấp than	0,00316	316,105	16,737	95.0	41.5
4	Hệ thống lọc bụi tĩnh điện ESP	0,00262	381,750	13,500	96.6	48.3
5	Hệ thống thải xỉ tro đáy	0,00581	172,091	19,545	89.8	19.9
6	Hệ thống thổi bụi	0,00212	471,154	15,308	96.9	55.4

Bảng 5.3 Sự gia tăng hiệu quả các chỉ số sau khi áp dụng mô hình mới

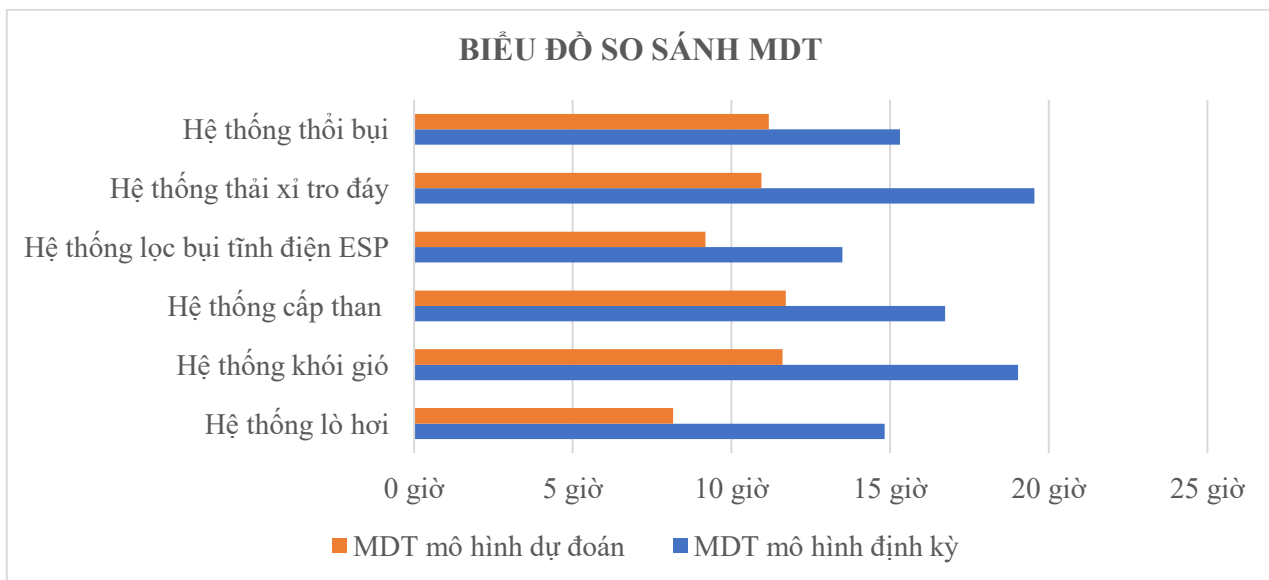
STT	Hệ thống	Tỷ lệ hư hỏng	MTBF	MDT	A(%)	R(%)
1	Hệ thống lò hơi	0,00436	163,683	8,158	94.5	48
2	Hệ thống khói gió	0,00260	296,956	11,613	95.7	56
3	Hệ thống cấp than	0,00202	398,293	11,716	96.8	63
4	Hệ thống lọc bụi tĩnh điện ESP	0,00191	488,640	9,180	97.5	71
5	Hệ thống thải xỉ tro đáy	0,00349	235,765	10,945	95.3	55
6	Hệ thống thổi bụi	0,00176	546,538	11,175	97.5	69



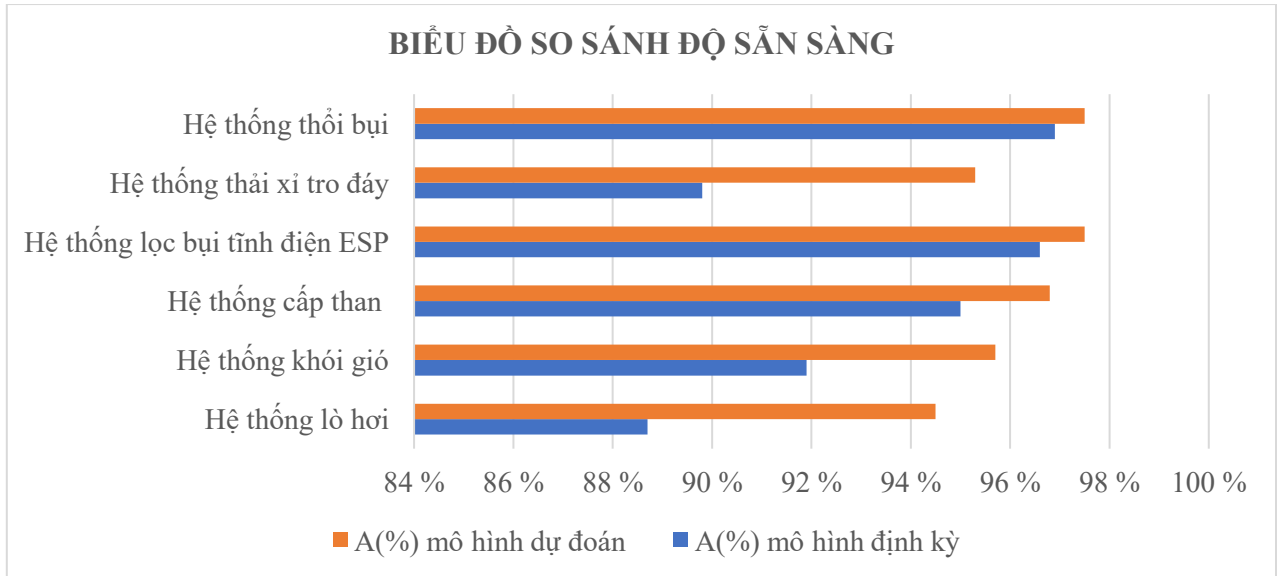
Hình 5.1 Biểu đồ so sánh tỷ lệ hư hỏng giữa hai mô hình



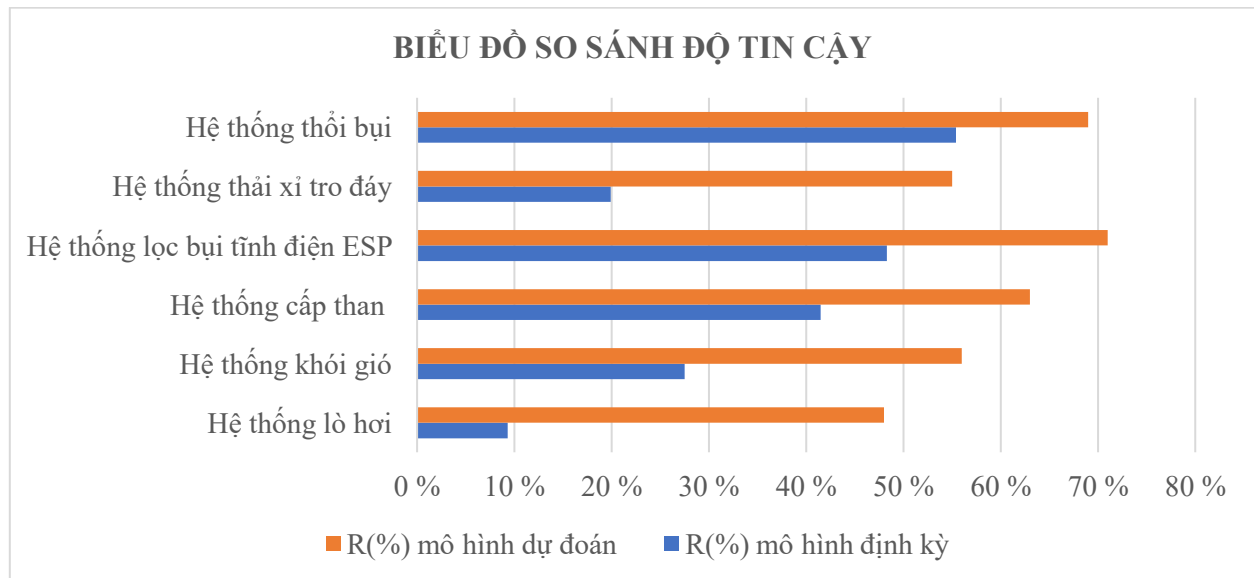
Hình 5.2 Biểu đồ so sánh MTBF của hai mô hình



Hình 5.3 Biểu đồ so sánh thời gian sửa chữa của hai mô hình



Hình 5.4 Biểu đồ so sánh độ sẵn sàng của hai mô hình



Hình 5.5 Biểu đồ so sánh độ tin cậy của hai mô hình

5.3 Nhận xét kết quả đạt được

Bảng 5.4 Mức độ chênh lệch sau khi áp dụng mô hình mới

STT	Hệ thống	Mức độ chênh lệch				
		Tỷ lệ hư hỏng↓	MTBF↑	MDT↓	A(%)↑	R(%)↑
1	Hệ thống lò hơi	49%	40%	45%	5.8%	39%
2	Hệ thống khói gió	44%	38%	39%	3.8%	29%

3	Hệ thống cấp than	36%	26%	30%	1.8%	21%
4	Hệ thống lọc bụi tĩnh điện ESP	27%	28%	32%	0.9%	23%
5	Hệ thống thải xỉ tro đáy	40%	37%	44%	5.5%	35%
6	Hệ thống thổi bụi	17%	16%	27%	0.6%	14%

Dưới đây là nhận xét và đánh giá kết quả đạt được nếu mô hình được triển khai thực tế

1. Hệ thống lò hơi: So với phương pháp cũ, mô hình dự đoán giúp tỷ lệ hư hỏng của hệ thống lò hơi đã giảm gần 49% (từ 0,00855 xuống còn 0,00436), cho thấy sự cải thiện rõ rệt trong việc kiểm soát sự cố. MTBF tăng từ 116,92 lên 163,68 giờ, trong khi MDT giảm từ 14,83 xuống còn 8,16 giờ, giúp cải thiện độ sẵn sàng từ 88,7% lên 94,5% và độ tin cậy từ 9,3% lên 48%. Điều này cho thấy bảo trì dự đoán giúp nâng cao hiệu quả vận hành và giảm thiểu thời gian dừng máy đáng kể.
2. Hệ thống khói gió: Tỷ lệ hư hỏng giảm từ 0,00465 xuống 0,00260, cùng với MTBF tăng lên mức 296,96 giờ, thể hiện độ bền vận hành cao hơn. MDT giảm đáng kể, giúp độ sẵn sàng tăng từ 91,9% lên 95,7% và độ tin cậy tăng từ 27,5% lên 56%. Điều này cho thấy phương pháp mới giúp phát hiện và xử lý sớm các sự cố, cải thiện độ tin cậy của hệ thống xử lý khí.
3. Hệ thống cấp than: Phương pháp mới giúp giảm tỷ lệ hư hỏng xuống 0,00202, trong khi MTBF tăng mạnh từ 316,11 lên 398,29 giờ, dù MDT có xu hướng tương đương. Độ sẵn sàng tăng lên 96,8% và độ tin cậy đạt 63% so với chỉ 41,5% trước đó. Việc cải thiện này góp phần duy trì nguồn cung nhiên liệu ổn định cho lò hơi, hạn chế rủi ro dừng đột xuất.
4. Hệ thống lọc bụi tĩnh điện ESP: Với tỷ lệ hư hỏng giảm từ 0,00262 xuống 0,00191, MTBF tăng lên 488,64 giờ và MDT giảm nhẹ, độ sẵn sàng đã được cải thiện từ 96,6% lên 97,5%. Đặc biệt, độ tin cậy tăng mạnh từ 48,3% lên 71%, chứng tỏ hệ thống lọc bụi vận hành ổn định và ít gặp sự cố hơn nhờ phát hiện sớm dấu hiệu bất thường từ cảm biến.
5. Hệ thống thải xỉ tro đáy: Tỷ lệ hư hỏng đã giảm từ 0,00581 xuống 0,00349, và MTBF tăng lên 235,77 giờ. MDT giảm đáng kể, kéo theo độ sẵn sàng từ 89,8% lên 95,3% và độ tin cậy từ 19,9% lên 55%. Đây là cải tiến đáng kể, đặc biệt quan trọng vì hệ thống này ảnh hưởng đến quá trình thải tro xỉ liên tục.

6. Hệ thống thổi bụi: Tỷ lệ hư hỏng giảm từ 0,00212 xuống 0,00176, MTBF tăng lên đến 546,54 giờ (cao nhất trong 6 hệ thống), và MDT cũng giảm. Nhờ vậy, độ sẵn sàng giữ ở mức rất cao (97,5%) và độ tin cậy tăng từ 55,4% lên 69%. Điều này cho thấy tính hiệu quả rõ rệt của bảo trì dự đoán trong các thiết bị phụ trợ tuy nhỏ nhưng có ảnh hưởng dài hạn.

Kết luận chung cho toàn cụm hệ thống

Tất cả các hệ thống đều cho thấy sự cải thiện rõ rệt sau khi chuyển sang mô hình bảo trì mới, đặc biệt về tỷ lệ hư hỏng, độ sẵn sàng (A%) và độ tin cậy (R%). Sự kết hợp giữa cảm biến, thu thập dữ liệu theo thời gian thực và phân tích dự đoán giúp giảm thiểu sự cố, kéo dài thời gian giữa các hư hỏng, rút ngắn thời gian sửa chữa và tối ưu hóa chi phí vận hành trong nhà máy nhiệt điện than.

KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

I. Kết luận

Từ những kiến thức đã học trong môn Quản trị sản xuất và Quản lý bảo trì công nghiệp, kết hợp với thời gian thực tập tại Công ty Nhiệt điện Nông Sơn, tôi nhận thấy rằng các sự cố thiết bị xảy ra bất ngờ và thời gian ngừng máy không kế hoạch đang gây ảnh hưởng nghiêm trọng đến hiệu suất vận hành và chi phí bảo trì của nhà máy. Trong khi đó, phương pháp bảo trì định kỳ hiện tại vẫn chưa tận dụng được dữ liệu thực tế từ thiết bị để phát hiện hỏng hóc sớm, dẫn đến tình trạng bảo trì dư thừa hoặc can thiệp chậm trễ.

Qua quá trình nghiên cứu và triển khai mô hình mô phỏng trên nền tảng Node-RED, đề tài “Nghiên cứu và phát triển mô hình bảo trì dự báo cho Công ty CP Than - điện Nông Sơn - TKV” đã đạt được một số kết quả nổi bật như sau:

- Xây dựng hệ thống bảo trì dự báo hoàn chỉnh trên nền tảng Node-RED, tích hợp thu thập dữ liệu cảm biến cho các thông số quan trọng trong việc đảm bảo vận hành trong hệ thống nhà máy để từ đó phục vụ cho việc tính toán thời gian hư hỏng còn lại (RUL) của từng thiết bị.
- Áp dụng mô hình suy giảm + ngưỡng để tính toán RUL, từ đó cảnh báo sớm khả năng hư hỏng, giúp nhà máy có đủ thời gian lên kế hoạch bảo trì trước khi xảy ra sự cố.
- Phát triển mô hình cảnh báo 3 tầng, chia làm ba mức độ nguy cơ (bình thường – cảnh báo – nguy hiểm), giúp kỹ thuật viên nhận diện tình trạng thiết bị một cách trực quan, dễ theo dõi và hành động kịp thời.

So sánh với phương pháp bảo trì định kỳ hiện tại, mô hình bảo trì dự báo cho thấy khả năng:

- Giảm thời gian dừng máy không kế hoạch
- Tối ưu hóa chi phí bảo trì
- Kéo dài tuổi thọ thiết bị
- Tăng tính sẵn sàng và hiệu suất toàn nhà máy

Các chỉ số kỹ thuật như MTBF, MDT, độ sẵn sàng (A%), độ tin cậy (R%) đã được tính toán và phân tích để so sánh hiệu quả giữa hai phương pháp, góp phần làm rõ tính ưu việt của mô hình bảo trì dự báo.

Tuy nhiên, do hạn chế về thời gian, dữ liệu thực tế còn hạn chế và mô hình hiện vẫn ở mức mô phỏng thử nghiệm, đề tài chưa thể triển khai rộng rãi toàn hệ thống. Trong tương

lai, mô hình có thể tiếp tục được mở rộng và tối ưu dựa trên các tập dữ liệu thực tế đầy đủ hơn.

II. Kiến nghị

Công ty nên từng bước xem xét triển khai mô hình bảo trì dự báo tại các bộ phận thiết yếu, đặc biệt là hệ thống lò hơi và các thiết bị có dữ liệu cảm biến sẵn có. Trước mắt có thể áp dụng mô hình cảnh báo 3 tầng để theo dõi tình trạng thiết bị và đưa ra cảnh báo sớm, giảm thiểu rủi ro dừng máy không kế hoạch.

Đồng thời, cần đầu tư thêm vào:

- Hạ tầng cảm biến và lưu trữ dữ liệu, để đảm bảo dữ liệu đầu vào cho hệ thống RUL là đầy đủ và chính xác.
- Đào tạo đội ngũ kỹ thuật viên về các công cụ mô phỏng như Node-RED, các khái niệm về bảo trì dự báo và xử lý dữ liệu thời gian thực.
- Xây dựng hệ thống quản lý bảo trì tổng thể (CMMS) để đồng bộ hóa quy trình bảo trì, lập lịch công việc, lưu trữ lịch sử và ra quyết định dựa trên dữ liệu.
- Về dài hạn, việc chuyển đổi từ mô hình bảo trì định kỳ sang mô hình bảo trì dự báo là xu hướng tất yếu, giúp nâng cao độ tin cậy thiết bị, tiết kiệm chi phí và nâng cao hiệu quả sản xuất tại doanh nghiệp.