

Tối Ưu Hóa Quá Trình Cháy Ở Các Động Cơ MAN B&W Dòng ME Bằng Hệ Thống Giám Sát Và Duy Trì Áp Suất Cháy Để Tiết Kiệm Nhiên Liệu Và Giảm Phát Thải Khí CO₂

Nguyễn Duy Trinh

Viện Hàng hải

Trường Đại học Giao thông vận tải

Thành phố Hồ Chí Minh

Thành phố Hồ Chí Minh, Việt Nam

trinh.nguyen@ut.edu.vn

Trần Hồng Thanh

Viện Hàng hải

Trường Đại học Giao thông vận tải

Thành phố Hồ Chí Minh

Thành phố Hồ Chí Minh, Việt Nam

thanh.tran@ut.edu.vn

Tóm tắt- Sự mài mòn ở các chi tiết trong động cơ, sự thay đổi của điều kiện môi trường xung quanh và sự thay đổi về chất lượng của nhiên liệu cung cấp đều có thể ảnh hưởng đến hiệu suất của động cơ, dẫn đến mức tiêu hao nhiên liệu và mài mòn ở động cơ tăng cao. Việc giám sát liên tục động cơ giúp khắc phục hiệu quả các sự cố xảy ra, tuy nhiên có thể khó khăn và tiêu tốn nhiều thời gian khi xử lý thủ công. Hệ thống tự động giám sát và duy trì áp suất quá trình cháy (PMI Auto-tuning) là một giải pháp cho việc đo lường, điều chỉnh áp suất cháy ở các động cơ chính của hãng MAN B&W dòng ME, cho phép tự động điều chỉnh áp suất cháy cực đại theo những thay đổi của điều kiện môi trường xung quanh và đặc tính của nhiên liệu sử dụng, giúp quá trình cháy bên trong động cơ đạt đến trạng thái tối ưu, làm giảm suất tiêu hao nhiên liệu và phát thải khí CO₂. Hệ thống PMI giúp dễ dàng giám sát và khắc phục các sự cố liên quan đến quá trình cháy bên trong động cơ. Các dữ liệu về hiệu suất của động cơ được hiển thị liên tục trên một màn hình, giúp người vận hành nhận biết được các thời điểm cần thiết nhằm điều chỉnh động cơ, đồng nghĩa với việc tiết kiệm đáng kể. Việc cải tiến bằng cách lắp đặt hệ thống tiêu chuẩn này có thể giúp tiết kiệm suất tiêu hao nhiên liệu ở động cơ từ 2 đến 4 g/kWh và tương ứng làm giảm phát thải khí CO₂.

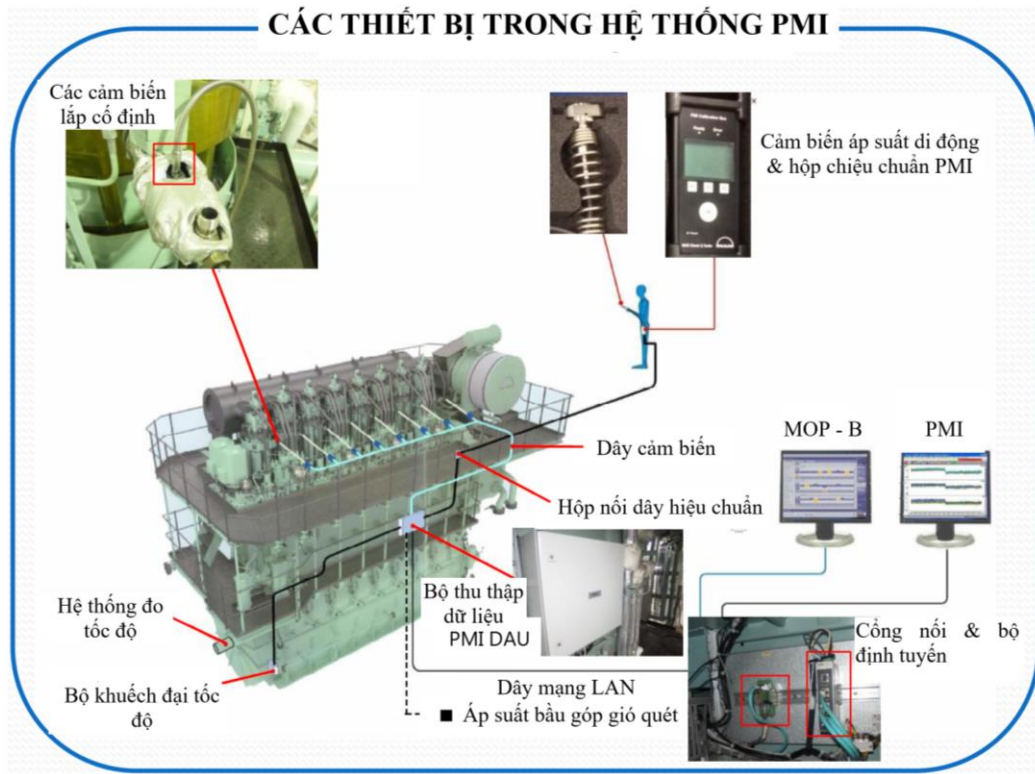
Từ khóa- Hệ thống tự động giám sát và duy trì áp suất quá trình cháy, cải tiến động cơ MAN B&W, giám sát áp suất xi lanh.

I. GIỚI THIỆU

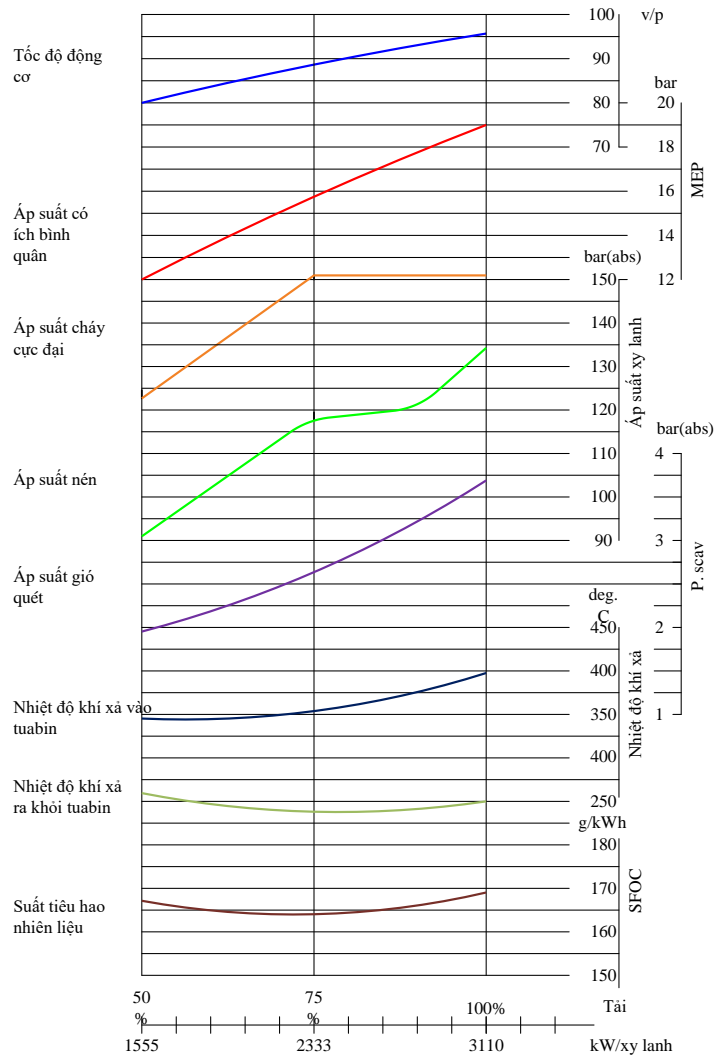
Hệ thống PMI là một hệ thống đo lường và điều chỉnh bán tự động hoặc hoàn toàn tự động áp suất cháy bên trong các động cơ của hãng MAN B&W. Hệ thống này được xây dựng dựa trên cùng một thiết lập cơ bản bao gồm: Một cụm giám sát áp suất trong các xi lanh (cylinder) động cơ (áp suất nén P_c , áp suất cháy cực đại P_{max}) thông qua đầu cảm biến áp suất lắp cố định trên mỗi xi lanh. Sau đó, các dữ liệu áp suất đo được này được sử dụng để tự động cân bằng và điều chỉnh động cơ. Hệ thống PMI Auto-tuning được lắp đặt sử dụng cho các loại động cơ hai kỳ MAN B&W điều khiển bằng điện tử (các dòng ME, ME-C, ME-B...), trong đó hệ thống sẽ điều chỉnh thời điểm phun nhiên liệu và độ mở của xupap (poppet valve) xả để đảm bảo áp suất trong xi lanh là chính xác.

II. PHÂN TÍCH

Các động cơ có tính tự chỉnh kém thường xuyên làm việc ngoài phạm vi giới hạn khuyến cáo của nhà chế tạo động cơ và áp suất cháy cực đại thường chỉ đạt ở mức thấp. Kết quả làm tăng suất tiêu hao nhiên liệu và tăng phát thải khí CO₂. Thông thường, cứ tăng bình quân 1 bar áp suất cháy cực đại P_{max} , sẽ giúp làm giảm suất tiêu hao nhiên liệu ở động cơ từ 0,20 đến 0,25 g/KWh. Do đó, cần thiết phải liên tục điều chỉnh động cơ về trạng thái làm việc tối ưu.



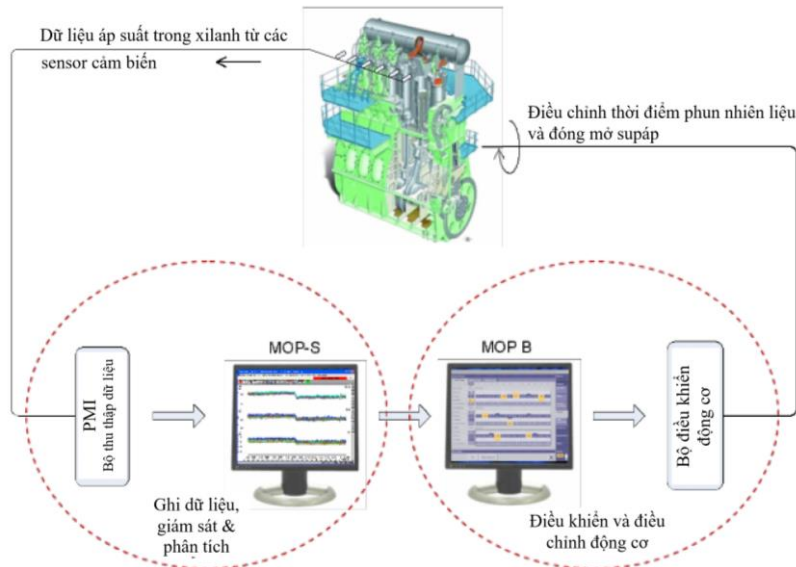
Hình 1. Sơ đồ bố trí hệ thống hệ thống PMI.



Hình 2. Đồ thị đặc tính của động cơ MAN B&W.

III. KẾT CẤU HỆ THỐNG TỰ ĐỘNG ĐIỀU CHỈNH PMI

Hệ thống tự động điều chỉnh PMI hoàn chỉnh được bố trí như sơ đồ hình 3.



Hình 3. Hệ thống tự động điều chỉnh PMI.

Hệ thống tự động điều chỉnh PMI được chia thành hai cụm. Cụm thứ nhất có chức năng ghi dữ liệu, giám sát và phân tích áp suất trong động cơ, trong khi đó,

cụm thứ hai có chức năng điều khiển và điều chỉnh thời điểm phun nhiên liệu ở động cơ và thời gian đóng xupap xả.



Hình 4. Cảm biến áp suất lắp cố định trên nắp xi lanh.

Cụm thứ nhất gồm bộ thu thập dữ liệu DAU (Data Acquisition Unit) kết hợp với hệ thống MOP-S (Service Main Operating Panel). Bộ DAU có chức năng thu thập dữ liệu về áp suất cháy bên trong động cơ ở các chu trình làm việc thông qua các cảm biến được gắn cố định trên nắp xi lanh động cơ và chuyển tiếp các dữ liệu này tới hệ thống MOP-S.

Hệ thống MOP-S được cài đặt sẵn chương trình PMI để ghi dữ liệu, giám sát và phân tích quá trình

cháy bên trong động cơ. Từ giao diện trong hệ thống này, hiệu suất làm việc của động cơ có thể được giám sát và kiểm tra, bao gồm việc giám sát các chu trình cháy thực tế diễn ra bên trong động cơ và chiều hướng của các giá trị áp suất chính trong xi lanh động cơ như áp suất cháy cực đại P_{max} , áp suất nén P_{comp} và áp suất có ích bình quân P_i . Các giá trị áp suất này sau đó được chuyển đến hệ thống MOP-B của cụm thứ hai qua kết nối mạng.



Bộ thu thập dữ liệu (PMI-DAU) lắp đặt trong buồng máy



Bộ thu thập dữ liệu (PMI-DAU)

Hình 5. Bộ thu thập dữ liệu (PMI-DAU).

Cụm thứ hai gồm Hệ thống MOP-B (Back-up Main Operating Panel) và bộ điều khiển động cơ (Engine Control Units). Hệ thống MOP-B chứa hệ thống điều khiển động cơ theo giao diện người dùng, bao gồm ra lệnh và điều khiển thay đổi quá trình cháy

bên trong động cơ. Từ giao diện này, hiệu suất của động cơ có thể được điều chỉnh ở thời điểm phun nhiên liệu vào buồng đốt động cơ và thời gian đóng xupap xả.



Bộ định tuyến và tường lửa

Hộp kết nối (5 cổng)

Hộp kết nối (8 cổng)

Hình 6. Mạng kết nối hệ thống MOP-S và MOP-B.

IV. PHƯƠNG THỨC ĐIỀU CHỈNH HIỆU SUẤT ĐỘNG CƠ

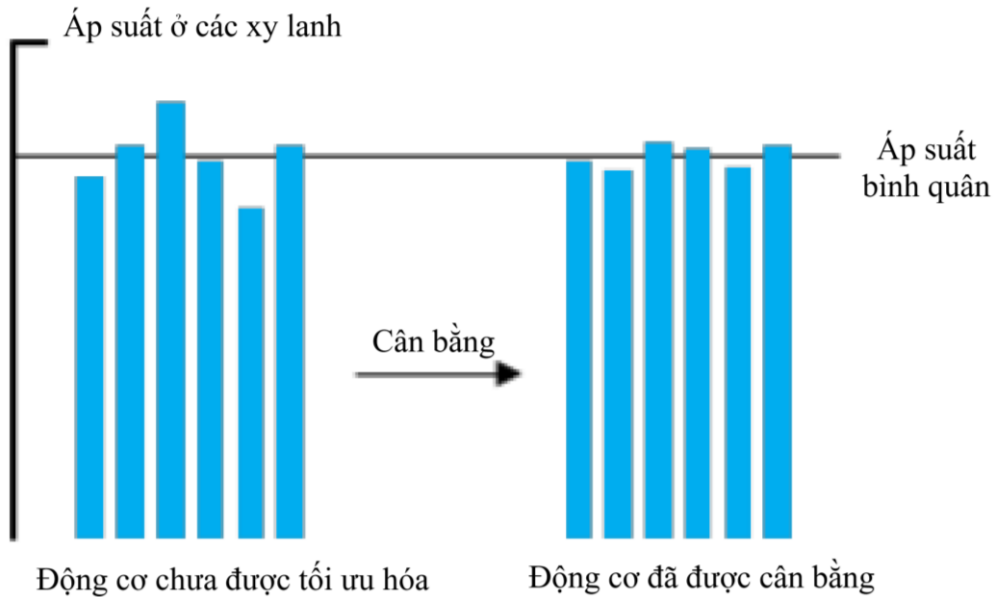
Điều chỉnh quá trình cháy bên trong động cơ để đạt hiệu suất cao nhất sẽ bao gồm hai giai đoạn điều chỉnh.

- Giai đoạn thứ nhất: Điều chỉnh cân bằng áp suất ở các xi lanh động cơ để giảm thiểu độ chênh lệch áp suất giữa các xi lanh so với giá trị áp suất bình quân;
- Giai đoạn thứ hai: Điều chỉnh áp suất bình quân trong xi lanh để đảm bảo động cơ làm việc ở mức áp suất được yêu cầu (thiết kế).

Để thực hiện các thao tác điều chỉnh trên, hệ thống điều khiển động cơ có thể thực hiện một trong ba chế độ điều chỉnh sau:

A. Tự động điều chỉnh liên tục

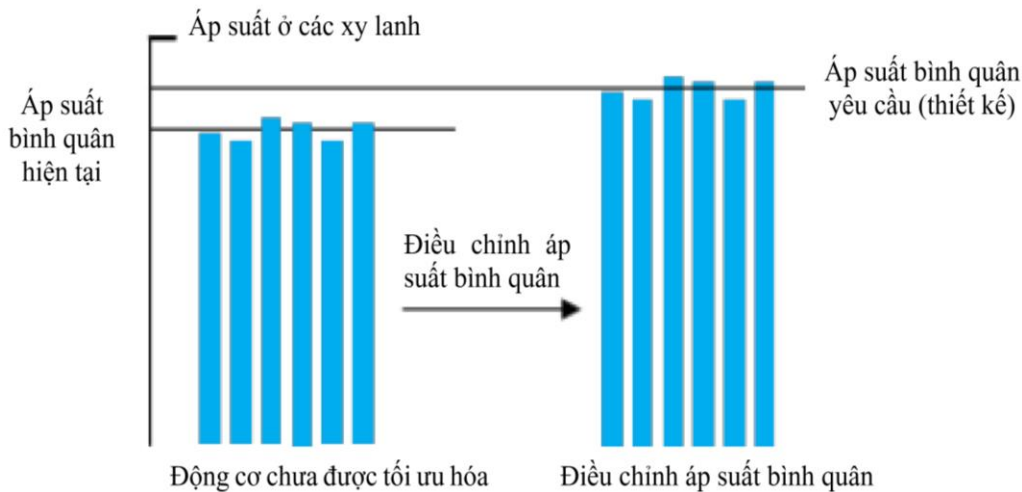
Áp suất ở các xi lanh liên tục được giám sát và hiệu chỉnh bởi hệ thống điều khiển động cơ không có sự can thiệp của người vận hành. Chế độ này chỉ thích hợp để điều chỉnh mức áp suất cháy cực đại bình quân P_{max} trong các xi lanh và phải đảm bảo rằng mức áp suất thực tế được điều chỉnh liên tục theo đặc tính khai thác của động cơ. Ví dụ, hệ thống tự động thích ứng với những thay đổi về đặc điểm của nhiên liệu sử dụng bằng cách điều chỉnh lại mức P_{max} trung bình để duy trì các thông số làm việc của động cơ.



Hình 7. Giai đoạn điều chỉnh cân bằng áp suất xi lanh.

Trong chế độ này, các điều chỉnh tự động xảy ra trong quá trình khai thác động cơ ở trạng thái ổn định và an toàn, trong phạm vi điều chỉnh hẹp hơn so với

chế độ tự động do người vận hành điều khiển hoặc chế độ điều khiển bằng tay.



Hình 8. Giai đoạn điều chỉnh áp suất bình quân.

B. Người dùng kiểm soát tự động

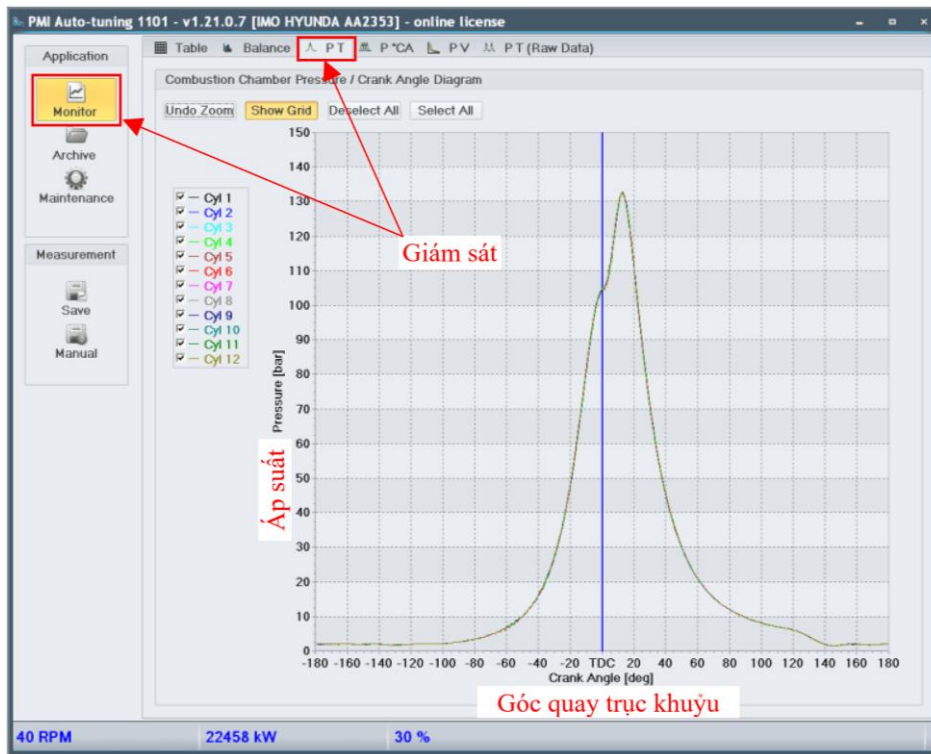
Áp suất ở các xi lanh được điều chỉnh tự động một lần, mỗi khi người dùng nhấn nút lệnh điều khiển. Chế độ này thích hợp để điều chỉnh cân bằng động cơ hoặc điều chỉnh mức áp suất bình quân và thực hiện điều chỉnh khi động cơ hoạt động ở trạng thái ổn định.

C. Điều khiển bằng tay

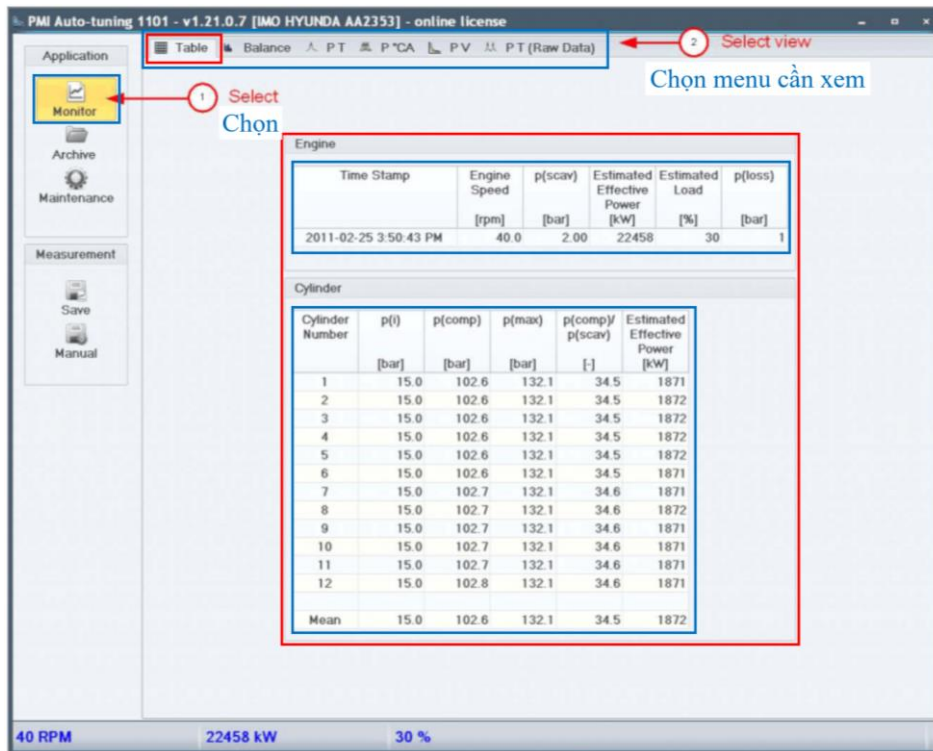
Áp suất ở từng xi lanh có thể được điều chỉnh bằng tay thông qua các thay đổi gia tăng do người vận hành thực hiện. Chế độ này nhằm mục đích điều chỉnh áp suất trong xi lanh động cơ, khi hệ thống tự động điều chỉnh PMI không được sử dụng.

V. GIỚI THIỆU SƠ LƯỢC MÀN HÌNH MOP-S

Từ màn hình và bảng menu của hệ thống MOP-S, người vận hành có thể cài đặt cấu hình cho hệ thống đo PMI, giám sát thực tế các giá trị áp suất chính ở một xi lanh hoặc tất cả các xi lanh như áp suất cháy cực đại P_{max} , áp suất nén P_{comp} , áp suất có ích bình quân p_i , cũng như công suất có lợi ước tính của động cơ N_e , thông qua đồ thị đường cong áp suất theo thời gian thực hoặc bảng giá trị các áp suất chính trong xi lanh động cơ.



Hình 9. Giám sát áp suất xi lanh từ đồ thị Áp suất – Góc quay trục khuỷu.

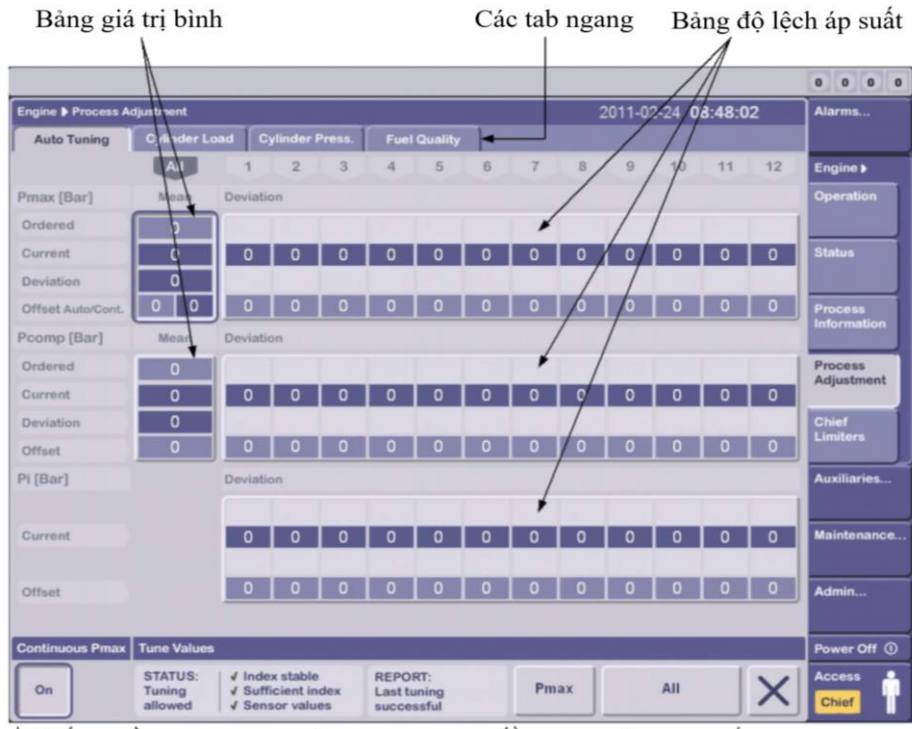


Hình 10. Giám sát các áp suất chính trong xi lanh động cơ từ bảng giá trị.

VI. GIỚI THIỆU SƠ LƯỢC MÀN HÌNH MOP-B

Màn hình giao diện của hệ thống MOP-B hiển thị áp suất bình quân thực tế và độ lệch áp suất giữa các xi lanh động cơ. Nếu những giá trị này vượt quá giới hạn độ lệch được đề xuất, nó sẽ được biểu thị dạng biểu tượng thay đổi theo màu sắc.

Các chức năng tự động điều chỉnh bao gồm chế độ tự động giám sát liên tục và chế độ tự động do người dùng điều khiển, chỉ được phép thực hiện khi động cơ hoạt động trong các điều kiện cụ thể, ví dụ như tải động cơ phải ổn định để điều chỉnh áp suất xi lanh một cách an toàn.



Nút chức năng Thanh thông tin Các nút điều khiển

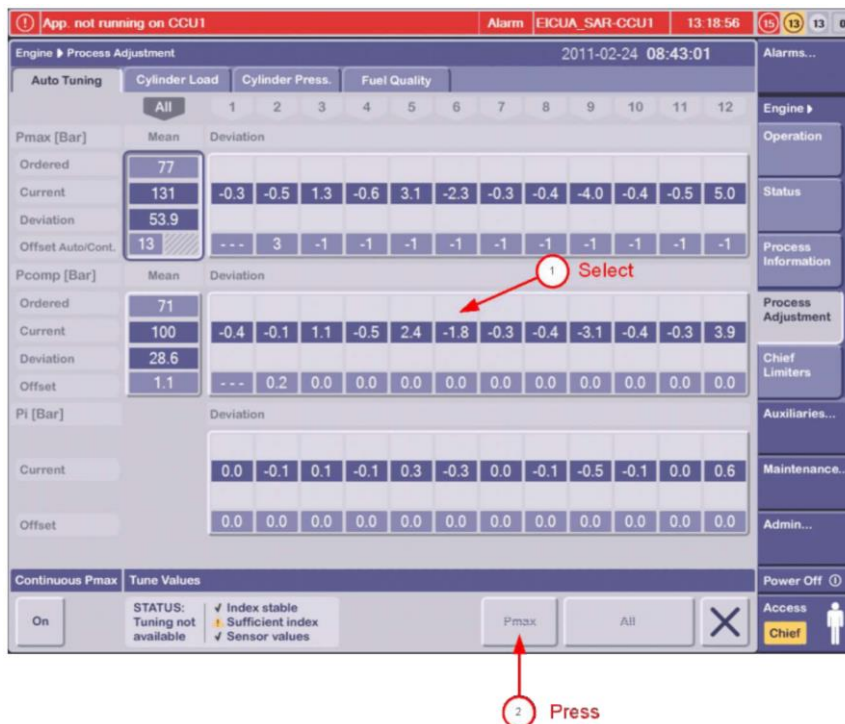
Hình 11. Giao diện hệ thống MOP-B.

Thông báo “Cho phép điều chỉnh” hiển thị ở thanh Thông tin phía dưới khi động cơ đang chạy trong các điều kiện cho phép tự động điều chỉnh. Việc điều chỉnh động cơ bao gồm:

A. Tự động điều chỉnh cân bằng các giá trị áp suất chính

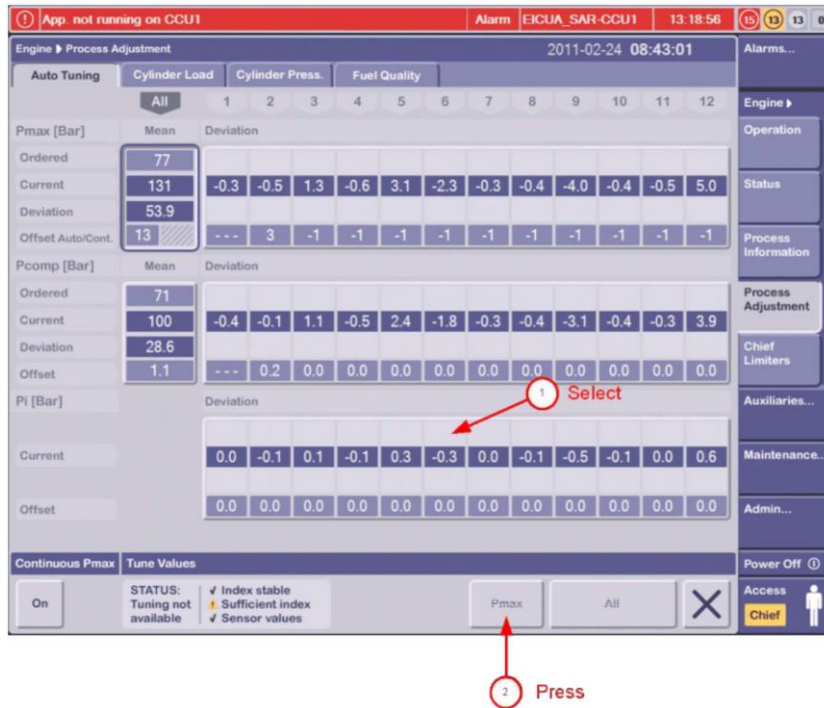
Để bật chế độ điều chỉnh cân bằng các giá trị áp suất trong xi lanh động cơ, cần đảm bảo rằng hệ thống

đang ở mức truy cập **Chief** (Máy trưởng), sau đó ấn chọn **Process Adjustment**, kế đến chọn tab **Auto Tuning**. Gửi một lệnh để điều chỉnh cân bằng bất kỳ một hoặc tất cả các giá trị áp suất chính (P_{max} , P_{comp} hoặc P_i) bằng cách chọn bảng độ lệch tương ứng, sau đó nhấn nút lệnh ở phía dưới thanh công cụ. Sử dụng chức năng này nếu cần, ví dụ sau khi thay đổi tải động cơ.

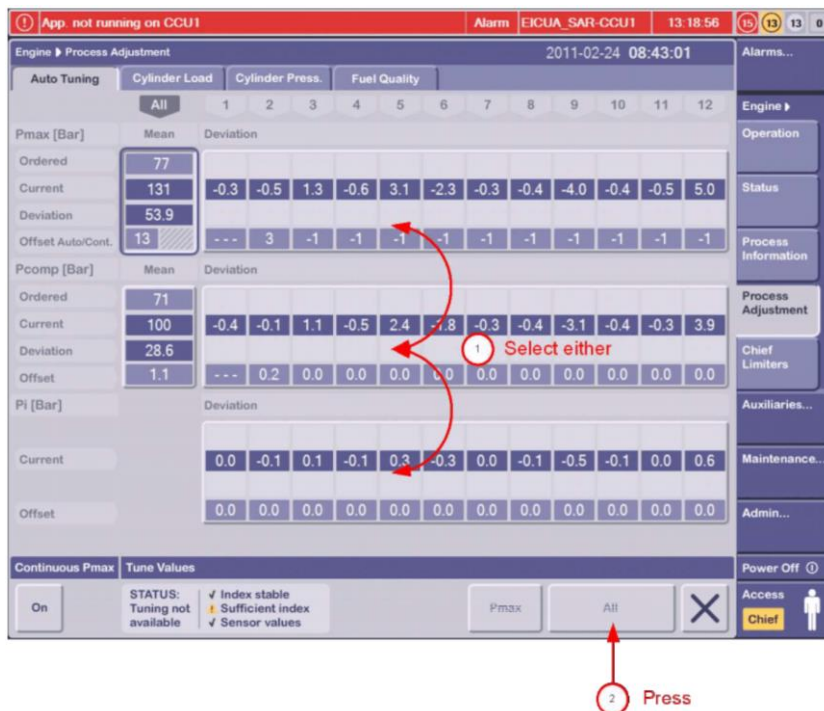


Hình 13. Điều chỉnh độ lệch P_{comp} giữa các xi lanh.

- Điều chỉnh cân bằng độ lệch áp suất P_{max} ;
- Điều chỉnh cân bằng độ lệch áp suất P_{comp} ;
- Điều chỉnh cân bằng độ lệch áp suất P_i ;
- Điều chỉnh cân bằng độ lệch tất cả các giá trị áp suất P_{max} , P_{comp} , P_i .



Hình 14. Điều chỉnh độ lệch P_i giữa các xi lanh.

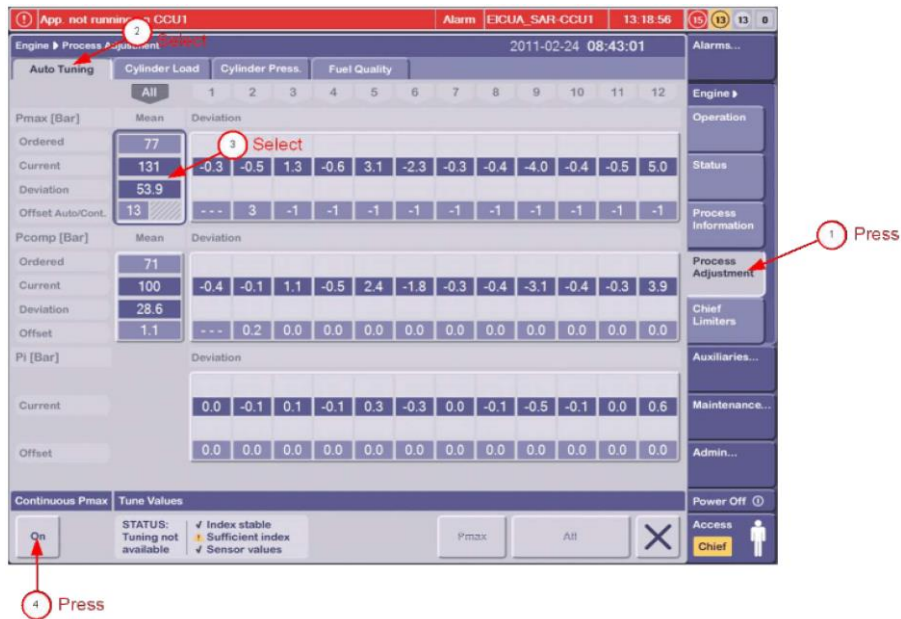


Hình 15. Điều chỉnh độ lệch tất cả các áp suất xi lanh.

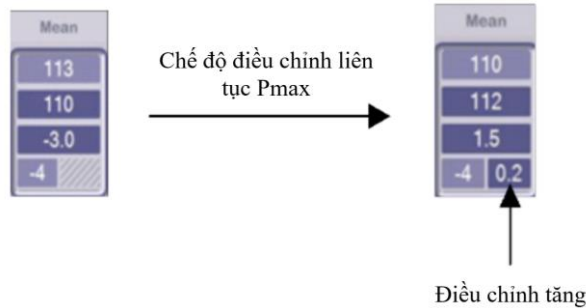
B. Điều chỉnh liên tục áp suất P_{max} bình quân

Để bật chế độ điều chỉnh liên tục áp suất P_{max} bình quân, cần đảm bảo rằng hệ thống đang ở mức truy cập **Chief** (Máy trưởng), sau đó ấn chọn **Process**

Adjustment (1), kế đến chọn tab **Auto Tuning** (2), rồi chọn bảng điều khiển P_{max} bình quân tương ứng (3) để điều chỉnh và nhấn nút lệnh “**On**” (4) ở thanh công cụ phía dưới. Khuyến cáo nên chạy động cơ ở chế độ này mọi lúc.



Hình 16. Chế độ điều chỉnh liên tục P_{max} bình quân.

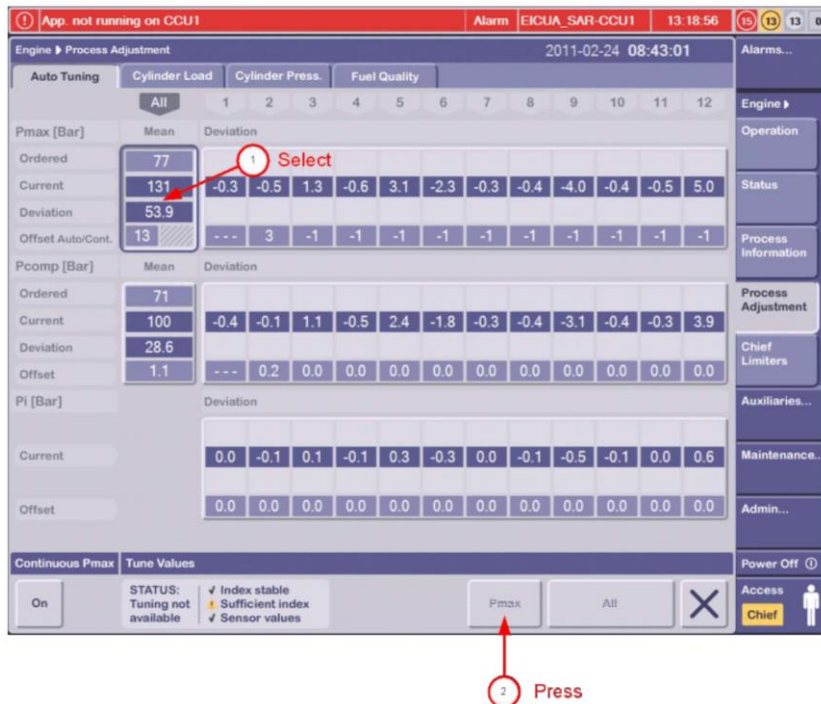


Hình 17. Cách thức điều chỉnh thay đổi P_{max} bình quân theo giá trị P_{max} yêu cầu (thiết kế).

C. Điều chỉnh sai lệch áp suất bình quân P_{max}

Tương tự như mục ở trên, chọn bảng điều khiển độ lệch áp suất bình quân P_{max} tương ứng để điều chỉnh

và nhấn nút lệnh " P_{max} " ở thanh công cụ phía dưới để điều chỉnh giảm sai lệch giữa áp suất bình quân P_{max} hiện tại và giá trị P_{max} theo yêu cầu (thiết kế).

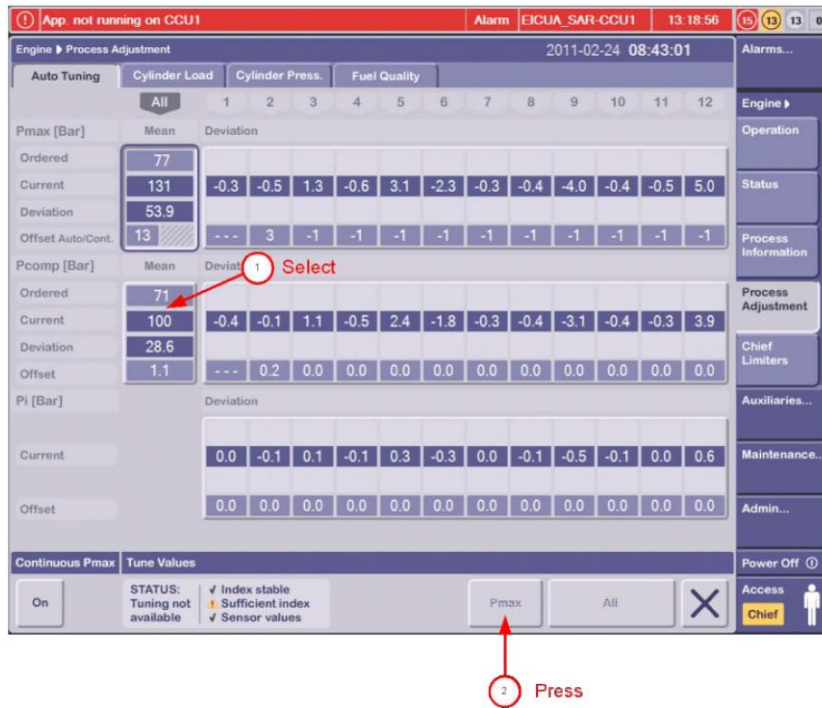


Hình 18. Chế độ điều chỉnh sai lệch P_{max} bình quân.

D. Điều chỉnh sai lệch áp suất bình quân P_{comp}

Tương tự như mục C ở trên, chọn bảng điều khiển độ lệch áp suất bình quân P_{Comp} để điều chỉnh và nhấn

nút lệnh “ P_{max} ” ở thanh công cụ phía dưới giảm sai lệch giữa áp suất bình quân P_{Comp} hiện tại và giá trị P_{Comp} theo yêu cầu (thiết kế).



Hình 19. Chế độ điều chỉnh sai lệch P_{Comp} bình quân.

VII. KẾT LUẬN

Với việc trang bị hệ thống tự động điều chỉnh PMI cho các động cơ MAN B&W dòng series ME, để theo dõi, giám sát liên tục sai lệch giữa các giá trị áp suất trong xi lanh động cơ như áp suất cháy cực đại P_{max} , áp suất nén P_{comp} , áp suất có ích bình quân P_i , từ đó liên tục điều chỉnh giảm các sai lệch này để đưa giá trị áp suất thực tế về với giá trị áp suất tối ưu mong muốn. Các lợi ích từ việc trang bị hệ thống PMI này mang lại như sau:

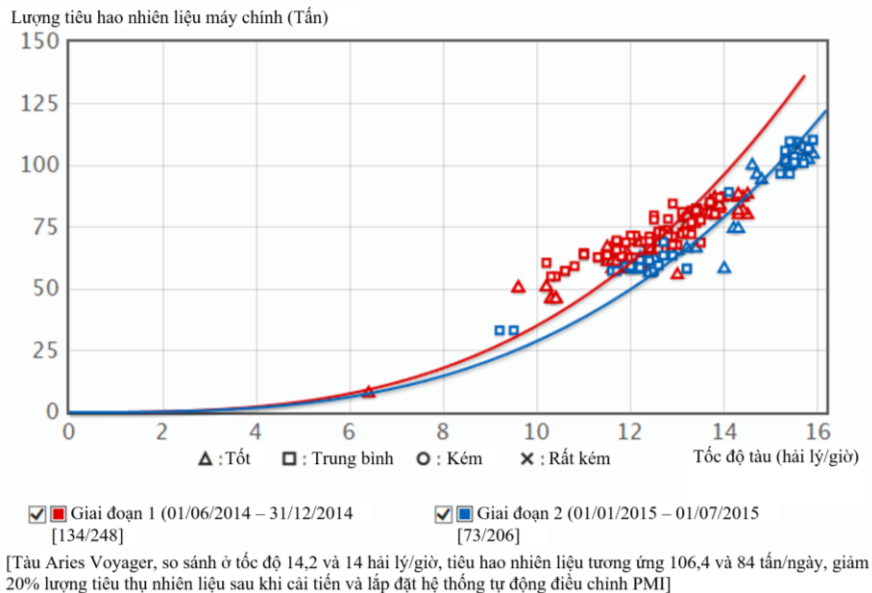
- Tối ưu hóa việc tiết kiệm suất tiêu hao nhiên liệu của động cơ;
- Không cần điều chỉnh động cơ theo những thay đổi trong các điều kiện khai thác ở vùng lạnh giá hoặc khí hậu ẩm áp. Động cơ được điều chỉnh tự động để đáp ứng những thay đổi đối với nhiên liệu sử dụng;
- Giảm bớt khối lượng công việc điều chỉnh thủ công đối với người vận hành vì chúng được điều chỉnh tự động;
- Giúp động cơ tránh bị quá tải, gây hư hỏng do ứng suất cơ và nhiệt;
- Cải thiện hiệu suất khai thác và hiệu suất làm việc của động cơ;
- Giảm chi phí bảo dưỡng động cơ và tăng độ tin cậy trong hoạt động;

- Giảm lượng phát thải khí CO₂ từ động cơ;
- Việc lắp đặt hệ thống không yêu cầu tàu phải lên ụ và được tiến hành như các công việc dịch vụ bình thường khác.
- Loại bỏ khả năng sai sót của con người nhờ việc điều chỉnh tự động các thông số.

Qua kinh nghiệm thực tế cho thấy, khi tăng áp suất cháy cực đại bình quân P_{max} lên 1 bar, giúp làm giảm suất tiêu hao nhiên liệu của động cơ khoảng từ 0,20 đến 0,25 g/KWh. Khả năng tăng áp suất P_{max} ở chế độ toàn tải hay các chế độ tải thông thường khác của động cơ có thể đến đạt mức 10 bar. Nếu lắp đặt hệ thống tự động điều chỉnh PMI cho động cơ MAN B&W 12K98ME, thuộc loại động cơ 2 kỳ, 12 xi lanh, đường kính xi lanh 980 mm, công suất 74.760 KW. Khi đó, 10 bar tăng suất ở P_{max} giúp làm giảm suất tiêu hao nhiên liệu 2,5 g/KWh, tương ứng động cơ có thể tiết kiệm được: $74.760 \times 2,5 \cong 4,5$ tấn / 1 ngày [4]. Đối với tàu chở dầu thô Aries Voyager, dữ liệu từ công ty Chevron [4] cho thấy một sự khác biệt lớn trong tiêu hao nhiên liệu trước và sau khi lên ụ. Trước khi lên ụ, động cơ trang bị trên tàu là MAN B&W 6S90ME-C, tiêu thụ 106,4 tấn nhiên liệu mỗi ngày với tốc độ khai thác 14,2 hải lý/giờ. Sau khi rời ụ, với cùng tốc độ yêu cầu ở trên, động cơ chỉ tiêu hao 84 tấn nhiên liệu mỗi ngày, giảm đáng kể ở mức 20%. Chevron ước tính

rằng khoảng một nửa số tiết kiệm nhiên liệu trên đến từ việc cải tiến động cơ bằng cách trang bị hệ thống tự động điều chỉnh PMI, trong khi nửa còn lại đến từ việc cải tiến chân vịt và làm sạch thân vỏ tàu. Dữ liệu thu thập từ ba tàu còn lại của Chevron là Arcturus Voyager, Aqaurius Voyager và Antares Voyager, tất cả các tàu đều được trang bị động cơ chính MAN

B&W 6S90ME-C, cũng đã xác nhận tầm quan trọng của việc liên tục điều chỉnh động cơ. Trên cả ba con tàu này, một dấu hiệu cải thiện quan trọng sau khi cải tiến và lắp đặt hệ thống tự động điều chỉnh PMI là lượng tiêu hao nhiên liệu giảm đi ít nhất 8,6% so với ban đầu [4].



Hình 20. Đồ thị so sánh Lượng tiêu hao nhiên liệu/Tốc độ tàu của tàu Aries Voyager sau khi lắp đặt hệ thống tự động điều chỉnh PMI.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] MAN Diesel, “PMI Auto-tuning operation – User’s reference Guide”, JBS/LDE4, MAN SE, Augsburg, Germany, 2011.
- [2] MAN Diesel & Turbo, “PMI & CoCoS-EDS”, MAN Energy Solutions, Augsburg, Germany, 2012.
- [3] MAN Diesel & Turbo, “PMI Auto-tuning – PrimeServ Retrofitting”, MAN Energy Solutions, Augsburg, Germany, 2010.
- [4] MAN Energy Solutions, “Saving 22 tonnes of fuel per day with PMI”, Augsburg, Germany, 2018.
- [5] A.Wiesmann, “Slow Steaming – A viable long-term option”, Wärtsilä Technical Journal, Vol.February, pp. 49-55, 2010.