■Ngày nhận bài: 19/5/2026 ■Ngày sửa bài: 01/6/2026 ■Ngày chấp nhận đăng: 12/6/2026

Nghiên cứu tác động của hệ thống đường thông thoát khí xả (EGB) trên động cơ ME nhằm tối ưu hóa tiêu thụ nhiên liệu trong điều kiện Slow Steaming

A study on the impact of the exhaust gas bypass (EGB) system on ME engines for fuel consumption optimization under Slow Steaming conditions

> THS PHẠM NGỌC ANH, THS ĐỖ HỒNG HẢI, THS PHẠM HỒNG DƯƠNG, KS BÙI DUY CHÍNH, THS LÊ NGỌC THÔNG, THS TỐNG THỊ XUYÊN, THS NGUYỄN THÀNH CÔNG, THS ĐỖ HỒNG THOAN*
Trường Cao đẳng Hàng hải và Đường thủy I
*Email: thoancdhh@gmail.com

TÓM TẮT

Ngành vận tải biển toàn cầu đang đứng trước áp lực lớn trong việc cắt giảm phát thải khí nhà kính (GHG) để tuân thủ các khung pháp lý khắt khe mới của Tổ chức Hàng hải Quốc tế (IMO), đặc biệt là các chỉ số EEXI và CII có hiệu lực từ năm 2023. Việc áp dụng chiến lược giảm tốc độ hành trình (Slow Steaming) được coi là giải pháp mang lại hiệu quả kinh tế tức thời, song lại đặt ra những thách thức lớn về hiệu suất nhiệt động học và cơ học đối với hệ thống động cơ chính, đặc biệt là ở dải tải thấp. Bài báo tập trung nghiên cứu, phân tích và đánh giá toàn diện hệ thống đường thông thoát khí xả (Exhaust Gas Bypass - EGB) khi được tích hợp trên nền tảng động cơ điều khiển điện tử (ME) của hãng MAN B&W. Qua quá trình phân tích dữ liệu, hệ thống EGB kết hợp phương pháp hiệu chỉnh tải thấp cho thấy khả năng giảm suất tiêu hao nhiên liệu riêng (SFOC) từ 2 - 5 g/kWh, đồng thời tối ưu hóa năng lượng nhiệt thừa toàn tàu thông qua hệ thống điều khiển năng lượng nồi hơi (EEC). Bài báo cũng đi sâu so sánh EGB với các công nghệ như ngắt bộ tăng áp (TCCO), phân tích các rủi ro vận hành như ăn mòn điểm sương và chỉ ra tính khả thi về mặt kinh tế với thời gian hoàn vốn chỉ từ 12 - 24 tháng, mở ra hướng đi chiến lược cho quá trình nâng cấp đội tàu, đặc biệt là đối với thực trạng đội tàu viễn dương tại Việt Nam.

Từ khóa: EGB; động cơ ME; Slow Steaming; SFOC; EEXI và CII.

ABSTRACT

The global maritime industry is facing immense pressure to reduce greenhouse gas (GHG) emissions to comply with the stringent new regulatory frameworks of the International Maritime Organization (IMO), particularly the EEXI and CII metrics that came into effect in 2023. Implementing the slow steaming strategy is considered an immediate cost-effective solution, but it poses significant thermodynamic and mechanical performance challenges for the main engine system, especially at low load ranges. This paper focuses on comprehensively studying, analyzing and evaluating the Exhaust Gas Bypass (EGB) system when integrated into the electronically controlled (ME) engine platform by MAN B&W. Through data analysis, the EGB system combined with the low-load tuning method demonstrates the capability to reduce specific fuel oil consumption (SFOC) by 2 - 5 g/kWh, while simultaneously optimizing the vessel's total waste heat energy via the Economiser Energy Control (EEC) system. The paper also delves into comparing EGB with technologies such as Turbocharger Cut-out (TCCO), analyzes operational risks like cold corrosion and highlights its economic feasibility with a payback period of only 12 - 24 months, thereby opening a strategic direction for fleet upgrading, particularly considering the current status of the Vietnamese ocean-going fleet.

Keywords: EGB; ME engine; Slow Steaming; SFOC; EEXI and CII.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Ngành vận tải biển đóng vai trò là mạch máu của thương mại toàn cầu, song cũng phải chịu trách nhiệm cho khoảng 2,89% tổng lượng phát thải khí nhà kính (GHG) của toàn thế giới tính đến năm 2018 [7]. Nhận thức được xu hướng lượng phát thải này sẽ tiếp tục gia tăng mạnh mẽ nếu không có các biện pháp can thiệp quyết liệt, Tổ chức Hàng hải Quốc tế (IMO) đã thông qua chiến lược ban đầu vào năm 2018, đặt ra mục tiêu đầy tham vọng là giảm ít nhất 40% cường độ carbon vào năm 2030 so với mức cơ sở của năm 2008 [1].

Để hiện thực hóa mục tiêu này, hai công cụ pháp lý quan trọng nhất đã chính thức có hiệu lực từ ngày 01/01/2023: EEXI (Chỉ số hiệu quả năng lượng tàu hiện có - thước đo kỹ thuật về hiệu quả thiết kế áp dụng cho các tàu trên 400 GT) và CII (Chỉ số cường độ carbon - thước đo vận hành đánh giá mức độ phát thải hàng năm của tàu trên 5.000 GT) [1]. Đối mặt với những quy định này, các chủ tàu buộc phải tìm kiếm những phương thức vận hành mới. Chiến lược Slow Steaming, tức là chủ động giảm tốc độ của tàu từ mức thiết kế ban đầu 22 - 25 hải lý/giờ xuống còn 18 - 20 hải lý/giờ hoặc thậm chí áp dụng Super Slow Steaming đang được xem là phương pháp hiệu quả và ít tốn kém nhất [9].

Về mặt nguyên lý vật lý cơ bản, công suất đẩy của tàu tỉ lệ thuận với lũy thừa ba của tốc độ, điều này có nghĩa là nếu tàu chỉ cần giảm 10% tốc độ thì có thể dẫn đến việc giảm tới 27% lượng tiêu thụ nhiên liệu [9]. Tuy nhiên, việc duy trì động cơ chạy ở tải thấp lại mang đến những hệ lụy tiêu cực về mặt kỹ thuật, cụ thể là khi tải giảm, hiệu suất của bộ tăng áp và áp suất khí quét thường sụt giảm nghiêm trọng. Sự suy giảm này trực tiếp làm kém đi chất lượng quá trình cháy trong buồng đốt và nghịch lý là làm tăng suất tiêu hao nhiên liệu riêng (SFOC) của động cơ [10]. Do đó, bài báo sẽ đi sâu làm rõ vai trò của hệ thống đường thông thoát khí xả (EGB) - một giải pháp kỹ thuật ưu việt giúp khắc phục hoàn toàn điểm yếu của vận hành tải thấp, từ đó bảo đảm khả năng tối ưu hóa nhiên liệu một cách trọn vẹn nhất.

2. CẤU TRÚC ĐỘNG CƠ ME VÀ NGUYÊN LÝ HOẠT ĐỘNG CỦA HỆ THỐNG EGB

2.1. Sự chuyển dịch công nghệ từ động cơ điều khiển cơ khí sang động cơ điều khiển điện tử

Sự ra đời của dòng động cơ điều khiển điện tử ME (bao gồm các biến thể như ME-C, ME-B, ME-GI) đã đánh dấu một cuộc cách mạng thay đổi hoàn toàn cách thức kiểm soát và vận hành chu trình Diesel truyền thống [11]. Nếu như các dòng động cơ MC cơ khí cũ phụ thuộc vào hệ thống trục cam cơ khí nặng nề để điều khiển bơm cao áp và xu-páp xả, thì động cơ ME lại ứng dụng hệ thống thủy lực - điện tử toàn phần. Nền tảng của công nghệ này nằm ở hệ thống điều khiển động cơ (ECS), có khả năng giám sát cực kỳ chính xác vị trí góc quay của trục khuỷu thông qua mạng lưới các cảm biến tacho với độ chính xác đạt tới 0,1 độ [11]. Từ những dữ liệu liên tục này, hệ thống sẽ kích hoạt các van điều khiển tỉ lệ vô cùng nhạy bén như van FIVA hoặc ELVA.

Bảng 1. Các thành phần kiểm soát cốt lõi giữa hai thế hệ động cơ

Thành phần kiểm soát	Động cơ điều khiển cơ khí (MC)	Động cơ điều khiển điện tử (ME-C)
Phun nhiên liệu	Trục cam cơ khí	Van FIVA/ELFI (điều khiển điện tử)
Kích hoạt xu-páp xả	Trục cam cơ khí	Van ELVA/FIVA (điều khiển điện tử)
Bôi trơn xy-lanh	Cơ khí phụ thuộc tốc độ	Alpha Lubricator
Khởi động khí nén	Bộ phân phối cơ khí	Van điện tử On/Off

Chính cấu trúc điện tử linh hoạt này đã cung cấp một nền tảng hoàn hảo cho việc tích hợp các hệ thống tối ưu hóa nâng cao, điển hình là EGB. Động cơ ME không bị gò bó trong một chế độ cố định mà cho phép người vận hành lựa chọn giữa nhiều chế độ chạy như "Fuel Economy Mode" để ưu tiên tiết kiệm hoặc các chế độ phát thải thấp để tuân thủ quy định môi trường tại các khu vực đặc biệt [11]. Trong điều kiện Slow Steaming, động cơ ME phát huy lợi thế cốt lõi là khả năng duy trì áp suất cháy ở mức cao ngay cả khi tải thấp thông qua việc tinh chỉnh thời điểm phun nhiên liệu và đóng van xả.

2.2. Nguyên lý Arctic Bypass, bảo vệ động cơ và logic điều khiển hệ thống

Về bản chất, EGB là một nhánh rẽ có kiểm soát nhằm thay đổi lượng khí xả đi vào bộ tăng áp [12]. Hệ thống này bắt nguồn từ nhu cầu thực tiễn trong các hải trình khắc nghiệt. Theo nguyên lý Arctic Bypass, khi tàu di chuyển qua vùng nước lạnh hoặc điều kiện khí hậu Bắc Cực, nhiệt độ không khí nạp xuống rất thấp làm mật độ không khí tăng lên đáng kể. Hệ quả là bộ tăng áp sẽ cung cấp một lượng khí quét lớn hơn nhiều so với thiết kế ban đầu, khiến áp suất cháy tối đa (P_{max}) bị đẩy lên vượt quá giới hạn bền cơ học cho phép của sơ-mi xy-lanh và nắp máy [12]. Để giải quyết, đơn vị điều khiển khí quét (SCU) của hệ thống EGB sẽ chủ động mở van để xả bớt một lượng khí xả, giảm bớt công suất của tuabin, từ đó giới hạn áp suất nạp và bảo vệ động cơ khỏi nguy cơ hư hỏng do quá tải.

Để hệ thống hoạt động an toàn, logic điều khiển của EGB được lập trình cứng với 4 giới hạn vận hành cốt lõi [12].

1. Bypass tổng tối đa cho phép: Ngăn không cho van EGB mở quá mức để đảm bảo lượng khí nạp không bao giờ tụt xuống dưới mức tối thiểu cần thiết cho quá trình cháy.

2. Bypass tổng tối thiểu: Hệ thống luôn duy trì một dòng khí xả nhất định đi qua tuabin nhằm giữ tốc độ quay cơ sở cho bộ tăng áp, giúp ngăn chặn hiện tượng hụt khí (lag).

3. Áp suất khí quét tối đa: Ngay lập tức ngắt hoặc đóng van EGB nếu áp suất khí nạp vượt qua ngưỡng an toàn cơ học.

4. Fail-safe running: Trong tình huống bộ tăng áp hoặc hệ thống nhiệt thừa gặp sự cố, logic điều khiển sẽ tự động ép van EGB mở hoàn toàn để xả áp suất khí xả một cách nhanh chóng [13].

Việc mở van EGB ở tải thấp tuy làm giảm hiệu suất tăng áp cục bộ, nhưng nó giúp động cơ hoạt động với một "tỉ lệ quét khí thể tích" ổn định hơn, từ đó ngăn chặn tình trạng quá nhiệt của xu-páp xả vốn rất phụ thuộc vào luồng khí nạp để làm mát [4].

3. HIỆU QUẢ HOẠT ĐỘNG, TƯƠNG TÁC CÔNG NGHỆ VÀ TÁC ĐỘNG PHÁP LÝ

3.1. Đánh giá hiệu quả tiết kiệm nhiên liệu và quản lý năng lượng nhiệt thừa

3.1.1. Phân tích sự tối ưu hóa trên đường cong SFOC

Hiệu quả của EGB không dừng lại ở lý thuyết mà đã được minh chứng bằng dữ liệu vận hành thực tế đáng tin cậy. Dữ liệu từ nhà sản xuất MAN Energy Solutions đã khẳng định rằng việc tích hợp EGB cùng phương pháp hiệu chỉnh tải thấp (Low-load tuning) có khả năng giảm suất tiêu hao nhiên liệu riêng (SFOC) từ 2 đến 5 g/kWh khi máy chạy ở dải tải thấp [3].

Bảng 2. So sánh suất tiêu hao nhiên liệu riêng (SFOC) theo mức tải giữa chế độ tiêu chuẩn và EGB Tuning

Mức tải (% SMCR)	SFOC tiêu chuẩn (g/kWh)	SFOC với EGB Tuning (g/kWh)	Mức giảm tiềm năng
100%	175,0	176,5	+1.5 (Chấp nhận đánh đổi)
75%	171,0	169,5	-1,5
50%	173,0	168,0	-5,0
25%	185,0	178,5	-6,5

Dữ liệu trên làm nổi bật một quy luật đánh đổi trong thiết kế kỹ thuật động cơ: Để đạt được hiệu suất vượt trội ở tải thấp (giảm 5,0 đến 6,5 g/kWh), thiết kế phải chấp nhận một khoản "phạt" nhỏ làm tăng SFOC ở mức tải 100% [3]. Tuy nhiên, thực tiễn kỷ nguyên Slow Steaming hiện nay cho thấy các tàu viễn dương gần như hiếm khi vận hành vượt mức 85% tải máy. Chính vì thế, sự đánh đổi này đem lại lợi ích kinh tế ròng vô cùng to lớn. Đối với một khối động cơ hàng chục MW, việc giảm 5 g/kWh có thể tiết kiệm hàng trăm nghìn USD chi phí dầu đốt mỗi năm, phụ thuộc vào số lượng tàu trong đội và sự biến động của giá dầu toàn cầu [3].

Cơ sở khoa học của sự tiết kiệm này nằm ở khả năng tối ưu hóa áp suất cháy đỉnh (Pmax). Nhờ EGB điều chỉnh áp suất khí nạp, hệ thống điện tử ME có thể duy trì tỉ lệ giữa áp suất cháy lớn nhất trên áp suất nén (Pmax/Pcomp) ở mức hoàn hảo trên toàn bộ dải tải. Khi tỉ lệ này được giữ gần với thông số thiết kế bất chấp tải thấp, hiệu suất nhiệt động học của toàn chu trình được nâng lên đáng kể. Sự kết hợp thêm các hệ thống như PMI Auto-tuning - liên tục đo đạc áp suất thực tế trong xylanh và điều chỉnh thời gian thực - sẽ giúp duy trì mức giảm 2 - 4 g/kWh một cách ổn định và lâu dài.

3.1.2. Tối ưu hóa năng lượng toàn tàu bằng Economiser Energy Control (EEC)

Một đột phá khác của EGB là tính năng điều khiển năng lượng nồi hơi (EEC), giúp giải quyết triệt để bài toán thiếu hụt hơi nước cục bộ. Khi tàu chạy chậm, lượng năng lượng nhiệt chứa trong khí xả bị sụt giảm nghiêm trọng, khiến nồi hơi nhiệt thừa (EGE) mất khả năng sản xuất đủ hơi nước phục vụ cho các hệ thống quan trọng trên tàu như hâm dầu FO, hâm máy hay sinh hoạt [4]. Theo cách vận hành truyền thống, thuyền viên buộc phải kích hoạt nồi hơi phụ chạy bằng dầu đốt, điều này phá vỡ hoàn toàn mục tiêu tiết kiệm nhiên liệu của Slow Steaming.

EEC can thiệp thông minh bằng cách điều khiển van EGB mở nhẹ khi nhận thấy áp suất hơi nước toàn hệ thống tụt xuống dưới ngưỡng an toàn. Bằng cách này, một luồng khí xả có nhiệt độ cực cao (do không bị bộ tăng áp hấp thụ năng lượng làm mát và giảm áp) sẽ được đẩy trực tiếp vào nồi hơi. Hiệu ứng kép mà nó mang lại bao gồm việc tăng đột biến nhiệt độ khí xả đầu vào, làm tăng mạnh hiệu suất trao đổi nhiệt tại EGE. Đồng thời, nó giúp cân bằng tiêu thụ nhiên liệu tổng: Dù việc mở EGB ở tải thấp có làm tăng nhẹ SFOC của máy chính, nhưng mức tăng này không đáng kể so với lượng dầu khổng lồ cần thiết để chạy nồi hơi phụ. Các nghiên cứu trên mẫu tàu chở hàng rời Kamsarmax 82.000 DWT đã minh chứng rõ ràng việc áp dụng EEC giúp tàu cắt hoàn toàn sự phụ thuộc vào nồi hơi phụ ở các mức tải rất thấp, gia tăng hiệu quả kinh tế một cách toàn diện [4].

3.2. Tương tác công nghệ và tác động đến việc tuân thủ pháp lý hàng hải

Trong không gian công nghệ dành cho Slow Steaming, hệ thống EGB thường được đưa lên bàn cân với các giải pháp khác như ngắt bộ tăng áp (TCCO) và tuabin biến thiên (VT).

3.2.1. So sánh hệ thống EGB với giải pháp ngắt bộ tăng áp (TCCO) và tuabin biến thiên (VT)

TCCO là công nghệ đóng ngắt hoàn toàn một trong số các bộ tăng áp trên những động cơ lớn được trang bị từ 2 đến 3 bộ tăng áp trở lên. Việc ngắt này ép dòng khí xả dồn toàn bộ vào các bộ tăng áp còn lại, giúp chúng vươn tới dải tốc độ quay cao hơn và đạt hiệu suất thiết kế dù động cơ đang ở mức tải rất thấp [13].

Mặc dù TCCO có khả năng tiết kiệm SFOC sâu hơn, nhưng tính ứng dụng linh hoạt của EGB lại cao hơn hẳn. Trên thực tế, hai hệ thống này có thể được kết hợp: EGB sẽ đảm nhiệm việc điều chỉnh các sai số áp suất nhỏ ở tải trung bình, trong khi TCCO sẽ được kích hoạt cho các chặng hành trình Super Slow Steaming dài ngày trên đại dương (hoạt động dưới 50% tải).

Bảng 3. So sánh hiệu quả và đặc tính vận hành của hệ thống EGB và TCCO

Đặc điểm	Hệ thống EGB	Hệ thống TCCO
Tính linh hoạt	Rất cao, có thể điều chỉnh độ mở van vô cấp theo thời gian thực [13]	Thường đòi hỏi phải dừng máy để thao tác (trừ một số dòng tự động đất tiền) [16]
Phạm vi áp dụng	Thích hợp với mọi loại động cơ, kể cả động cơ nhỏ chỉ có 1 bộ tăng áp [4]	Chỉ dành cho động cơ lớn có từ 2 bộ tăng áp trở lên [16]
Tiết kiệm SFOC	Khoảng 2 - 5 g/kWh [3]	Hiệu quả cao hơn, có thể lên tới 6 - 10 g/kWh khi chạy ở tải cực thấp [16]
Chi phí đầu tư	Mức chi phí thấp, kết cấu phần cứng đơn giản, dễ bảo trì [4]	Chi phí rất cao do cần lắp đặt các van chặn kích thước lớn và logic hệ thống phức tạp [16]

Công nghệ VT có nguyên lý hoạt động dựa trên việc thay đổi diện tích vòng phun nằm bên trong tuabin. Việc thu hẹp tiết diện vòng phun khi máy chạy ở tải thấp sẽ làm gia tăng mạnh vận tốc dòng khí đập vào cánh tuabin, qua đó tăng tốc độ quay mà không cần phải bỏ qua một phần lưu lượng khí như cách tiếp cận của EGB. Tuy nhiên, nhược điểm lớn nhất của VT lại nằm ở vấn đề độ bền cơ học. Các chi tiết chuyển động tinh vi của cơ cấu VT cực kỳ dễ bị kẹt cứng do sự tích tụ của cặn carbon và muội than sinh ra từ việc đốt dầu FO chất lượng thấp. Trái ngược lại, cụm van EGB được lắp đặt trên một nhánh rẽ độc lập bên ngoài, ít chịu tác động ăn mòn trực tiếp hơn, mang lại độ tin cậy vượt trội, dễ dàng kiểm tra và bảo trì hơn [15].

3.2.2. Đánh giá sự cải thiện về chỉ số EEXI và CII

Tầm quan trọng của EGB không chỉ nằm ở khía cạnh cơ khí mà còn mang ý nghĩa sống còn trong chiến lược tuân thủ môi trường của các hãng tàu.

Phần lớn đội tàu hiện có đang áp dụng giải pháp giới hạn công suất máy chính (EPL) để tuân thủ EEXI. Khi công suất máy bị ép giảm xuống mức 60 - 70% công suất thiết kế, bộ tăng áp nguyên bản sẽ hoạt động ở dải hiệu suất kém. Việc nâng cấp hệ thống EGB kết hợp với hiệu chỉnh Low-load tuning giúp động cơ lấy lại được "hiệu suất lớn" ngay tại mức công suất giới hạn mới này, bù đắp đáng kể những tổn thất kinh tế do việc giới hạn công suất gây ra [8].

Chỉ số CII đo lường cường độ carbon dựa trên vận hành thực tế. EGB mang lại đóng góp kép. Thứ nhất, bằng việc giảm SFOC trực tiếp từ 2 - 5 g/kWh, lượng khí CO_2 xả ra môi trường giảm từ 3 - 4% trên mỗi hải lý di chuyển. Thứ hai, việc loại bỏ hàng trăm giờ đốt nồi hơi phụ mỗi năm thông qua tính năng EEC sẽ kéo giảm mạnh mẽ tổng lượng tiêu thụ nhiên liệu hàng năm, tạo động lực giúp con tàu thăng hạng từ mức D lên mức C hoặc thậm chí mức B, tránh được nguy cơ bị cấm cảng và duy trì giá trị thương mại trên thị trường vận tải quốc tế [1].

4. THÁCH THỨC VẬN HÀNH, BÀI TOÁN KINH TẾ VÀ TRIỂN VỌNG ỨNG DỤNG

4.1. Kiểm soát rủi ro kỹ thuật khi chạy máy ở tải thấp

Bên cạnh các lợi ích rõ ràng, việc mở van EGB và duy trì máy ở chế độ Slow Steaming thời gian dài luôn đi kèm với những rủi ro vận hành phức tạp.

Thứ nhất là hiện tượng ăn mòn điểm sương [11]. Vận hành ở tải thấp khiến nhiệt độ bề mặt sơ-mi xy-lanh tụt giảm. Nếu mức nhiệt này xuyên thủng ngưỡng điểm sương của axit sulfuric - một sản phẩm phụ độc hại hình thành từ hàm lượng lưu huỳnh trong dầu đốt - thì quá trình ăn mòn hóa học sẽ tàn phá bề mặt xy-lanh và xéc-măng với tốc độ báo động. Để ứng phó, hệ thống ME đã ứng dụng công nghệ bôi trơn Alpha Lubricator tích hợp thuật toán LDCL. Thuật toán này tự động đo lường và tinh chỉnh định lượng dầu nhờn cùng với độ kiềm một cách linh hoạt theo tải máy và chất lượng lưu huỳnh của nhiên liệu. Đồng thời, các thuyền viên cần duy trì nhiệt độ nước làm mát nắp máy luôn ở mức xấp xỉ 85°C để chống lại hiện tượng này.

Thứ hai là tích tụ muội than và nguy cơ cháy nồi hơi. Vận tốc dòng khí xả yếu do máy chạy tải thấp sẽ tạo điều kiện cho các hạt muội than li ti và dầu chưa cháy hoàn toàn bám chặt lên các ống trao đổi nhiệt của bộ EGE. Điểm nguy hiểm nằm ở chỗ, khi tàu bất ngờ cần tăng tốc độ, nhiệt lượng xả tăng cao đột biến sẽ có nguy cơ bắt lửa và kích cháy lớp muội than dày đặc này, tạo ra các vụ hỏa hoạn buồng máy nghiêm trọng. Do đó, quy trình vận hành tiêu chuẩn luôn đòi hỏi thuyền trưởng và máy trưởng phải phối hợp thực hiện các ca "chạy thổi" định kỳ nhằm mượn sức ép và nhiệt độ của luồng khí để tẩy sạch hệ thống [16].

4.2. Phân tích hiệu quả đầu tư và khả năng ứng dụng cho đội tàu Việt Nam

Dưới góc độ quản trị tài chính của các chủ tàu, việc nâng cấp EGB là một bài toán sinh lời hấp dẫn. Một dự án nâng cấp tiêu chuẩn sẽ bao gồm chi phí cho các cụm van cơ khí, hệ thống đường ống, cập nhật phần mềm ECS và chi phí kỹ thuật từ nhà cung cấp. Dù cần đầu tư ban đầu, nhưng nhờ mức tiết kiệm thực tế dao động từ 1,5% đến 4% tổng sản lượng nhiên liệu tiêu thụ, thời gian hoàn vốn thường chỉ kéo dài vỏn vẹn từ 12 đến 24 tháng, tùy theo giá nhiên liệu và chu kỳ hoạt động của tàu [5]. Khi kỷ nguyên của các loại nhiên liệu carbon thấp (methanol, ammonia) với giá thành đắt đỏ đang đến gần, lợi thế tài chính của các hệ thống như EGB sẽ càng được nhân lên gấp bội.

Đối chiếu với thực trạng ngành Hàng hải Việt Nam, phần lớn khối lượng tấn đội tàu viễn dương hiện nay bao gồm các tàu hàng rời và tàu dầu thuộc thế hệ cũ, sử dụng các biến thể động cơ MAN B&W dòng MC cơ khí hoặc dòng ME đời đầu [6]. Việc nghiêm túc nghiên cứu và tiến hành lắp đặt các gói công nghệ EGB là con đường thiết thực và khả thi nhất để bảo toàn năng lực cạnh tranh. Nếu không có sự thay đổi, quy định khắt khe của CII sẽ sớm sàng lọc và loại bỏ các tàu cũ này ra khỏi các tuyến vận tải sinh lời trên quốc tế. Đáng mừng là hệ thống cơ sở hạ tầng sửa chữa tàu biển tại Việt Nam hiện nay hoàn toàn đủ năng lực phối hợp với các kỹ sư của MAN Energy Solutions để thực hiện thành công các gói nâng cấp này ngay trong các chu kỳ lên đà bảo dưỡng định kỳ của tàu [4].

5. KẾT LUẬN

Kết quả nghiên cứu cho thấy hệ thống đường thông thoát khí xả (EGB) không chỉ là một cải tiến cơ khí mà đã trở thành mô-đun trọng yếu trong kiến trúc động cơ tàu thủy ME hiện đại, đóng vai trò tối ưu hóa và điều phối năng lượng toàn hệ thống. Đối với chế độ vận hành Slow Steaming, hiệu quả của EGB được khẳng định trên 3 phương diện chính: (i) Nâng cao hiệu suất động cơ thông qua việc dịch chuyển vùng tiêu hao nhiên liệu riêng tối ưu (SFOC) về dải tải khai thác thực tế, giúp tiết kiệm tới 5 g/kWh nhiên liệu; (ii) tăng cường quản lý năng lượng tích hợp nhờ thuật toán EEC, cho phép tận dụng hiệu quả nhiệt dư và giảm nhu cầu đốt dầu phụ cho nồi hơi; (iii) hỗ trợ tuân thủ các yêu cầu pháp lý quốc tế như EEXI và CII, qua đó kéo dài hiệu quả khai thác kinh tế của tàu.

Để tối ưu hiệu quả đầu tư và giảm thiểu rủi ro vận hành, cần áp dụng các công cụ mô phỏng chuyên dụng nhằm đánh giá cấu hình phù hợp cho từng tàu, đồng thời kết hợp đào tạo thuyền viên, quản lý bôi trơn và vệ sinh nồi hơi định kỳ. Trong bối cảnh ngành Hàng hải chuyển dịch sang nhiên liệu xanh có chi phí cao, công nghệ EGB được xem là giải pháp thiết yếu nhằm nâng cao hiệu quả sử dụng năng lượng và bảo đảm tính bền vững trong khai thác tàu biển hiện đại.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] Vakili, S., Ballini, F., Schönborn, A., Christodoulou, A., Dalaklis, D., Ölçer, A. I. Assessing the macroeconomic and social impacts of slow steaming in shipping: a literature review on small island developing states and least developed countries. Journal of Shipping and Trade, vol. 8(1), pp. 1-25, 2023.

[2] Maritime Expert. Operational information: The computer controlled electronic engine. Maritime Expert, 2016.

[3] Scribd. Exhaust gas bypass system overview. Scribd Document Repository, 2024.

[4] MAN Energy Solutions. Economiser energy control for increased service steam production. MAN Energy Solutions, 2022.

[5] Alfa Laval. Is slow-steaming the solution for full engine optimization? Alfa Laval Marine Transportation, 2026.

[6] Everllence. Engine Optimisation. Everllence Project Guides.

[7] Riviera Maritime Media. Slow steaming? A turbocharger cut-out can improve efficiency. Riviera Maritime Media, 2022.

[8] METO. ME engine electronics full guide. Marine Engineering Training Online, 2020.

[9] Vakili, S., Ballini, F., Schönborn, A., Christodoulou, A., Dalaklis, D., Ölçer, A. I. Assessing the macroeconomic and social impacts of slow steaming in shipping: a literature review on small island developing states and least developed countries. PubMed Central, vol. 8(1), article 2, 2023.

[10] Wehner, K., Schmidt, H., Pamungkas, M. R. Modelling the turbocharger cut off application due to slow steaming operation 12RTA96C-B engine. IPTEK The Journal for Technology and Science, vol. 1(4), 2017.

[11] International Maritime Organization. Improving the energy efficiency of ships. International Maritime Organization. Internet:

https://www.imo.org/en/ourwork/environment/pages/improving%20the%20energy%20efficiency%20of%20ships.aspx (accessed: 3/2026).

[12] International Maritime Organization. EEXI and CII - Ship carbon intensity and rating system. International Maritime Organization. Internet:

https://www.imo.org/en/mediacentre/hottopics/pages/eexi-cii-faq.aspx (accessed: tháng 3/2026).

[13] Viện FMIT. Slow steaming shipping là gì (Definition & Meaning). Viện FMIT. Internet: https://fmit.vn/tu-dien-quan-ly/slow-steaming-in-shipping-la-gi (accessed: 3/2026).

[14] MAN B&W. Marine engine IMO Tier II. MAN Diesel & Turbo, 2013.

[15] Pelić, V., Bukovac, O., Radonja, R., Degiuli, N. The impact of slow steaming on fuel consumption and CO_2 emissions of a container ship. Journal of Marine Science and Engineering, vol. 11(3), article 675, 2023.

[16] Tô Trọng Hiến, Đặng Thanh Tùng, Mai Thế Trọng. Xác định và giải pháp nâng cao chỉ số hiệu quả năng lượng cho tàu hiện đang khai thác Việt Thuận 30-02. Tạp chí Khoa học Công nghệ Hàng hải Việt Nam, tr. 24-29, 2023.