

**ĐO LƯỜNG VÀ ĐÁNH GIÁ PHÁT THẢI KHÍ ĐỘC HẠI  
ĐỘNG CƠ DIESEL TÀU THỦY**  
MEASUREMENT AND ASSESSMENT OF GAS EMISSIONS FOR MARINE  
DIESEL ENGINE

NGUYỄN TRÍ MINH<sup>1</sup>, LƯU QUANG HIỆU<sup>1\*</sup>, DƯƠNG PHAN ANH<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Khoa Máy tàu biển, Trường Đại học Hàng hải Việt Nam

<sup>2</sup>Phòng Quan hệ Quốc tế, Trường Đại học Hàng hải Việt Nam

\*Email liên hệ: luuquanghieu@vimaru.edu.vn

**Tóm tắt**

Việt Nam hiện đã tham gia đầy đủ Phụ lục VI - "Các quy định về ngăn ngừa ô nhiễm không khí do tàu gây ra" của Công ước quốc tế về ngăn ngừa ô nhiễm do tàu gây ra (MARPOL 73/78). Do đó, đội tàu Việt Nam cần đáp ứng những yêu cầu khắt khe của IMO về kiểm soát khí thải theo lộ trình đã được đưa ra. Để làm được điều này, nước ta cần xây dựng hệ thống phòng thí nghiệm, lập quy trình kiểm tra và đánh giá sự phù hợp đối với chất lượng khí thải theo tiêu chuẩn đã được đề ra nhằm đảm bảo thực thi Công ước cũng như Bộ luật kỹ thuật NO<sub>x</sub> của tất cả các tàu khi đến cảng các nước thành viên. Một trong những phương án khả thi để đo lường và đánh giá phát thải khí thải trên tàu là việc sử dụng những thiết bị đo lường phát thải di động có độ chính xác cao. Kết quả các nghiên cứu cho thấy, thiết bị đo lường di động cho kết quả nhanh chóng, đảm bảo độ chính xác khi đo trực tiếp trên tàu tại các cảng biển.

**Từ khóa:** Đo lường, kiểm soát phát thải, phương pháp đo lường đơn giản hóa, thiết bị đo lường phát thải di động.

**Abstract**

Vietnam currently fully participates in Annex VI - "Regulations on air pollution prevention by ships" of International Convention for the Prevention of Pollution from Ships (MARPOL 73/78). Therefore, the Vietnamese fleet needs to meet the strict requirements of IMO on emission control in accordance with the roadmap that has been set up. In order to do this, Vietnam needs to build a laboratory system and set up the process of measuring and assessing the conformity of emissions standards according to international standards to ensure the implementation of the convention and NO<sub>x</sub> Technical code of all ships when arriving at member countries ports. A applicable option for measuring and evaluating on-board emissions is the use of high-precision portable emission measurement devices. The results of studies show that portable emission measurement device gives quick results, ensuring accuracy when directly measuring on ships at ports.

**Keywords:** Measurement, emissions control, simplified measurement method, portable emission measurement systems.

**1. Đặt vấn đề**

Nhằm hạn chế phát thải các chất khí độc hại của động cơ Diesel tàu thủy vào môi trường, Tổ chức Hàng hải Quốc tế (IMO) đã bổ sung những quy định nghiêm ngặt vào Công ước quốc tế MARPOL 73/78 về ngăn ngừa ô nhiễm từ tàu. Phụ lục VI của Công ước quốc tế MARPOL 73/78 đã đưa ra các quy định hạn chế phát thải khí NO<sub>x</sub> từ tàu áp dụng cho tất cả các động cơ diesel lắp đặt trên tàu có công suất từ 130kW trở lên. IMO kiểm soát phát thải khí NO<sub>x</sub> bằng hệ thống 3 tiêu chuẩn (three-tier system) tương ứng với năm tàu bắt đầu được đóng và công suất động cơ. Tiêu chuẩn I (Tier I) và Tiêu chuẩn II (Tier II) được áp dụng toàn cầu (trong đó: Tiêu chuẩn I áp dụng cho các tàu đóng từ 2000 đến 2010; Tiêu chuẩn 2 áp dụng cho các tàu được đóng từ năm 2011 và các năm tiếp theo). Tiêu chuẩn 3 có hiệu lực từ 01/01/2016 và áp dụng cho các vùng biển đặc biệt (Emission control areas). Nếu như giữa Tiêu chuẩn I và II hàm lượng NO<sub>x</sub> bị cắt giảm khoảng 20% thì mức cắt giảm ở tiêu chuẩn III lên tới 80% [1, 2].

**Bảng 1. Các qui định bắt buộc về phát thải NO<sub>x</sub> theo Phụ lục VI, MARPOL 73/78**

Tiêu chuẩn	Khu vực áp dụng	Thời điểm đóng tàu	Tổng chu trình giới hạn phát thải (g/kWh), n=v/p		
			n<130	130<=n<2000	n>=2000
I	Toàn cầu	01/01/2000	17,0	45.n <sup>-0,2</sup>	9,8
II	Toàn cầu	01/01/2011	14,4	44.n <sup>-0,23</sup>	7,7
III	Vùng biển đặc biệt	01/01/2016	3,4	9.n <sup>-0,2</sup>	2,0

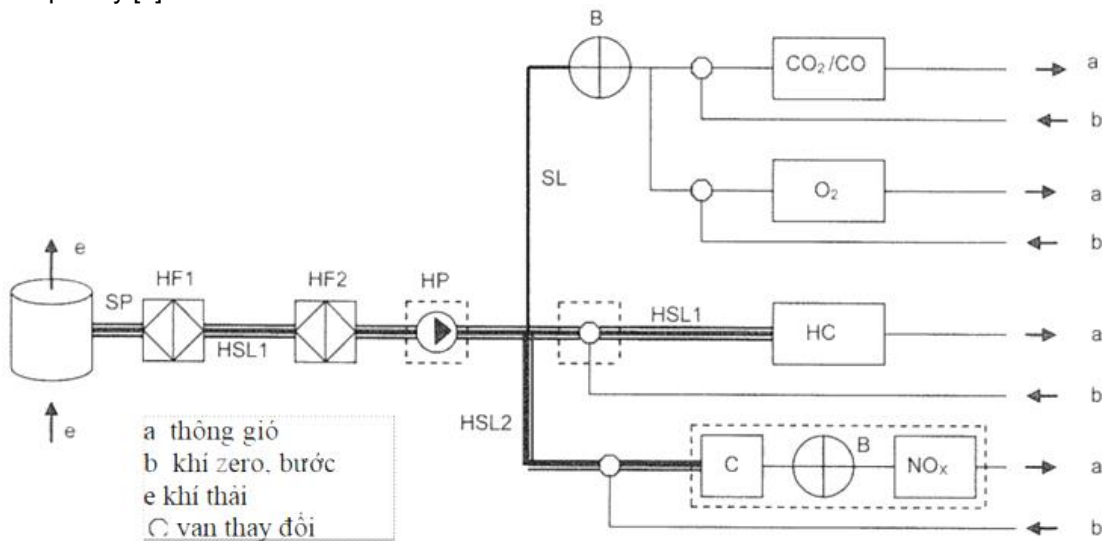
Hiện tại, Việt Nam đã triển khai nhiều các hoạt động nhằm đáp ứng đầy đủ cam kết của quốc gia thành viên về thực hiện mục tiêu của công ước MARPOL 73/78 sửa đổi 2010. Tuy nhiên, việc kiểm tra và đánh giá sự phù hợp về chất lượng khí thải từ động cơ diesel thủy lắp đặt trên tàu là công việc đòi hỏi cấp bách đối với mỗi chính quyền hành chính của các nước thành viên khi Phụ lục VI, MARPOL 73/78 có hiệu lực. Một trong những yếu tố cần thiết là Việt Nam cần xây dựng hệ thống phòng thí nghiệm, xây dựng quy trình kiểm tra và đánh giá sự phù hợp đối với chất lượng khí thải theo tiêu chuẩn đã được đề ra nhằm đảm bảo thực thi công ước của tất cả các tàu khi đến cảng các nước thành viên. Việc đánh giá cần đảm bảo tính khách quan, các thiết bị có độ chính xác cao, đáp ứng tiêu chuẩn quốc tế.

Đối với đội tàu của Việt Nam hiện nay và trong tương lai gần mọi động cơ lắp đặt trên tàu thủy đều sản xuất ở nước ngoài, các động cơ này đã được chứng nhận và kiểm định để xác định việc tuân thủ giới hạn phát thải  $\text{NO}_x$  theo quy định. Việc xác nhận tuân thủ trong trường hợp này chủ yếu xác định bằng các phương pháp: phương pháp kiểm tra thông số động cơ sử dụng để đảm bảo không có vi phạm khi chỉnh sửa động cơ làm sai lệch so với thiết kế ban đầu đã được kiểm định; phương pháp đo đơn giản áp dụng cho việc kiểm định và làm mới trên tàu, kiểm định hằng năm và kiểm định trung gian khi yêu cầu; phương pháp đo trực tiếp và giám sát áp dụng trên tàu khi kiểm định phục hồi, hằng năm và kiểm định trung gian. NTC cho phép thực hiện thử nghiệm trên tàu đối với các động cơ không thể chứng nhận trên bộ thử nghiệm thông qua phương pháp đo lường đơn giản hóa (SMM). Phương pháp đo SMM đã được giới thiệu trong IMO từ năm 1997.

## 2. Nội dung

### 2.1. Hệ thống phân tích khí thải

Một hệ thống phân tích khí thải bao gồm các thành phần cơ bản giới thiệu trên Hình 1. Theo Chương 5 của Nghị quyết MEPC.177 (58) Sửa đổi Bộ luật kỹ thuật  $\text{NO}_x$  kiểm soát phát thải  $\text{NO}_x$  từ động cơ diesel tàu thủy các thành phần tương đương và được bố trí đúng theo phê duyệt của Cơ quan quản lý [3].



**Hình 1. Bố trí hệ thống phân tích khí thải**

SP- Đầu dò lấy mẫu, HF- Lọc khí, HSL- Ống lấy mẫu có gia nhiệt, SL- Ống lấy mẫu đo  $\text{CO}$ ,  $\text{CO}_2$  và  $\text{O}_2$ , C- Bộ chuyển đổi, B - Bộ làm mát,  $\text{CO}_2/\text{CO}$ - Bộ phân tích  $\text{CO}_2$  và  $\text{CO}$ ,  $\text{NO}_x$ - Bộ phân tích  $\text{NO}_x$ , HC- Bộ phân tích HC

Khí thải động cơ được lấy mẫu thông qua đầu dò SP có nhiều lỗ nhỏ, lắp trên đường xả, đối với khí xả khô có thể sử dụng một đầu dò lấy mẫu chung để kiểm tra các thành phần khác nhau. Thiết bị lọc khí HF có gia nhiệt giữ lại các tạp chất rắn trước khi vào thiết bị phân tích, nhiệt độ khí thải được duy trì tương đương với nhiệt độ ở tuyến lấy mẫu HSL. Tuyến lấy mẫu là ống thép không gỉ hoặc polytetraflourlene (PTFE) có đường kính từ 4 đến 13,5 mm. Thành ống cần được gia nhiệt để duy trì nhiệt độ khí xả trong khoảng  $190^\circ\text{C}$ . Bộ làm mát bố trí trước máy đo  $\text{NO}_x$  để ngưng tụ hơi nước trong khí xả, nhiệt độ duy trì ở mức  $0^\circ\text{C}$  đến  $4^\circ\text{C}$ . Bộ phân tích  $\text{NO}_x$  là loại đầu dò phát quang (CLD) hay đầu dò phát quang gia nhiệt (HCLD) với bộ chuyển đổi  $\text{NO}_2/\text{NO}$  nếu đo khí khô. Trường hợp đo khí ướt phải sử dụng thiết bị HCLD với bộ chuyển đổi được duy trì ở nhiệt độ trên  $55^\circ\text{C}$  với điều kiện phải kiểm tra mức độ khử nước. Bộ phân tích carbon monoxide (CO) và carbon dioxide ( $\text{CO}_2$ ) là loại hấp thụ tia hồng ngoại không tán sắc (NDIR).

Trong suốt quá trình đo phát thải NO<sub>x</sub> bằng phương pháp SMM cần ghi lại toàn bộ các thông số trong Bảng 1 [3]. Hệ thống các thiết bị phòng thí nghiệm cần trang bị đầy đủ các dụng cụ đo cần thiết.

**Bảng 1. Thông số động cơ cần đo và ghi lại [3]**

Ký hiệu	Mô tả	Đơn vị
Ha	Độ ẩm tuyệt đối (hàm lượng nước trong khí nạp liên quan đến khối lượng khí khô)	g/kg
n <sub>d,i</sub>	Tốc độ động cơ (ở chế độ i <sup>th</sup> trong chu kỳ)	min <sup>-1</sup>
n <sub>turb,i</sub>	Tốc độ bộ tăng áp (nếu áp dụng) (ở chế độ i <sup>th</sup> trong chu kỳ)	min <sup>-1</sup>
P <sub>b</sub>	Áp suất khí áp tổng (theo ISO 3046-1:1995: P <sub>x</sub> = P <sub>x</sub> = tổng áp suất môi trường xung quanh)	kPa
P <sub>C,i</sub>	Áp suất khí nạp sau bộ làm mát khí (ở chế độ i <sup>th</sup> trong chu kỳ)	kPa
P <sub>i</sub>	Sức hãm (ở chế độ i <sup>th</sup> trong chu kỳ)	kW
Q <sub>mf,i</sub>	Lưu lượng nhiên liệu dầu (ở chế độ i <sup>th</sup> trong chu kỳ)	kg/h
s <sub>i</sub>	Vị trí thanh răng nhiên liệu (của mỗi xi lanh, nếu áp dụng) (ở chế độ i <sup>th</sup> trong chu kỳ)	
T <sub>a</sub>	Nhiệt độ khí nạp ở đầu vào khí (theo ISO 3046-1: 1995 T <sub>x</sub> =T <sub>Tx</sub> =nhiệt độ học môi trường xung quanh)	K
T <sub>SC,i</sub>	Thay đổi nhiệt độ không khí sau bộ làm mát khí (nếu áp dụng) (ở chế độ i <sup>th</sup> trong chu kỳ)	K
T <sub>caclin</sub>	Bộ làm mát khí nạp, nhiệt độ chất làm mát đầu vào	°C
T <sub>cacout</sub>	Bộ làm mát khí nạp, nhiệt độ chất làm mát đầu ra	°C
T <sub>exh,i</sub>	Nhiệt độ khí xả ở điểm lấy mẫu (ở chế độ i <sup>th</sup> trong chu kỳ)	°C
T <sub>fuel</sub>	Nhiệt độ nhiên liệu dầu trước động cơ	°C
T <sub>Sea</sub>	Nhiệt độ nước biển	°C

Thực tế cho thấy cả quy trình thử nghiệm trên bộ thử và đánh giá SMM đang sử dụng rất tốn kém và phức tạp, đòi hỏi phải lắp đặt một lượng lớn thiết bị trên tàu để thực hiện chứng nhận khí thải. Hơn nữa, theo chương trình chứng nhận hiện tại, một động cơ tàu được phép chứng nhận trong khi vận hành bằng nhiên liệu chưng cất (MDO) không chứa nitơ cả trên bộ thử nghiệm và sử dụng ngay cả khi các tàu lớn thường hoạt động trên nhiên liệu nặng (HFO). Sử dụng nhiên liệu chưng cất có khả năng làm giảm phát thải NO<sub>x</sub> được chứng nhận xuống giá trị thấp hơn, vì thành phần nhiên liệu nặng có các liên kết chứa nitơ.

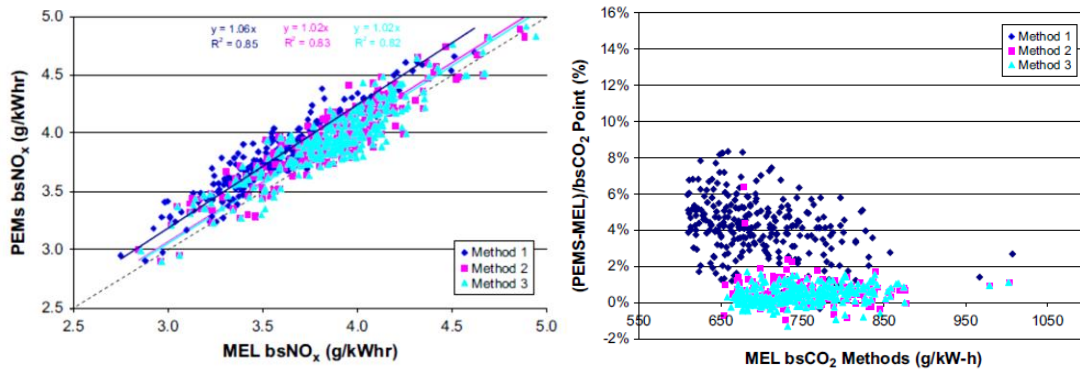
Hệ thống đo lường phát thải di động (PEMS) hiện đã được Cơ quan Bảo vệ Môi trường Hoa Kỳ (USEPA), Liên minh Châu Âu sử dụng để giảm chi phí và thời gian kiểm tra khí thải [6, 7]. Vì thế vấn đề sử dụng PEMS để có thể đo phát thải chính xác từ tàu biển lớn cần được xem xét. Sử dụng PEMS để chứng nhận phát thải NO<sub>x</sub> trên tàu có thể được thực hiện nhanh chóng, chính xác và với chi phí thấp hơn khi vận hành trên nhiên liệu thường sử dụng là dầu nặng (HFO). PEMS cũng có thể được sử dụng cho các cuộc khảo sát hàng năm để đảm bảo rằng lượng khí thải động cơ tàu lớn vẫn tuân thủ các tiêu chuẩn khí thải NO<sub>x</sub>. Ngoài ra, để đáp ứng yêu cầu giảm NO<sub>x</sub> theo Tiêu chuẩn Tire III, trên nhiều tàu sẽ lắp đặt các thiết bị xử lý khí thải. Phương pháp chứng nhận thông thường khó đáp ứng yêu cầu chứng nhận những hệ động lực như vậy. Áp dụng phương pháp SMM hiện tại sẽ rất cồng kềnh và tốn kém cho chủ tàu.

## 2.2. Kết quả thực nghiệm

Xác định chính xác lượng phát thải từ tàu biển thực sự là thách thức lớn đối với chính quyền cảng, đặc biệt các cảng nằm trong vùng biển đặc biệt - nơi áp dụng bắt buộc các yêu cầu nghiêm ngặt nhất Phụ Lục VI Công ước quốc tế Marpol 73/78. Chính quyền cảng Rotterdam (Hà Lan) từ năm 2009 đã nghiên cứu xây dựng các trạm quan trắc tại lối vào của cảng này [4]. Vị trí này được coi là phù hợp nhất vì lưu lượng tàu bè qua đây lớn và điều kiện ánh sáng tốt. Hệ thống quan trắc có lợi thế về chi phí thấp và khả năng tự động kiểm tra. Tuy nhiên, phương pháp đo này quá phụ thuộc vào điều kiện thời tiết, hướng gió,... Trong khi đó các thiết bị do di động khắc phục được hoàn toàn những nhược điểm trên, các thiết bị này cho phép tối ưu hóa điều kiện lấy mẫu từ tàu. Đặc biệt các tàu sử dụng đồng thời hai loại nhiên liệu DO và FO, khi tàu hoạt động trong cảng có sự chuyển đổi nhiên liệu và hòa trộn khí xả giữa máy chính và máy phụ làm tăng sai số khi đo bằng thiết bị cố định. Trong nghiên cứu [4] nhóm tác giả đề xuất phương pháp xác định hàm lượng SO<sub>x</sub> bằng máy đo *Thermo Electron* (model 43i-TLE) dựa trên nguyên tắc quang phổ, còn NO/NO<sub>x</sub> thực hiện bằng máy đo di động *Thermo 42i-TL*. Kết quả đo trên tàu *Stena Hollandica* cho thấy độ sai lệch khi đo hàm lượng phát thải SO<sub>x</sub> bằng thiết bị di động nằm trong khoảng 5,15%.

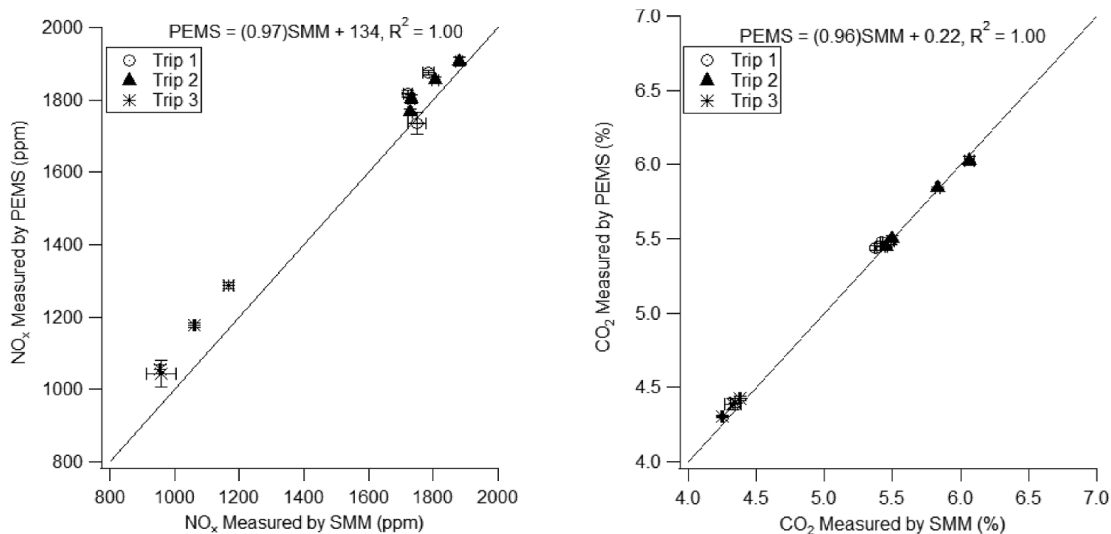
Nghiên cứu của Đại học Công nghệ Michigan (MTU) phát triển thiết bị đo lường phát thải cầm tay chạy bằng pin có hỗ trợ sấy nóng khí mẫu. So sánh kết quả đo của thiết bị cầm tay và máy phân tích trong bộ thử cho thấy kết quả hàm lượng CO<sub>2</sub> nằm trong giới hạn 5%, CO là 10% và NO<sub>x</sub> trong vòng 5% [10].

Cùng thời điểm này, nghiên cứu [5] thực hiện so sánh kết quả của hệ thống đo lường khí thải phòng thí nghiệm đáp ứng tiêu chuẩn liên bang (MEL) và hệ thống đo lường khí thải di động PEMS. Hệ số phát thải được đánh giá bằng ba phương pháp khác nhau: phương pháp 1 xác định tỉ lệ tổng lượng phát thải và công sinh ra của động cơ; phương pháp 2 và 3 kết hợp tỷ lệ tiêu thụ nhiên liệu và cân bằng carbon để giảm thiểu các sai lệch khi đi lưu lượng khí thải (Hình 2). Kết quả thí nghiệm cho thấy, lượng phát thải NO<sub>x</sub> khi xác định bằng PEMS sai lệch so với MEL khoảng 8%, trong khi sai lệch ở các phép đo CO<sub>2</sub> có độ lệch trung bình 2% - 4%, sai lệch ở phép đo CO rất thấp và thường dưới 1%.



Hình 2. Tương quan giữa kết quả đo phát thải bằng PEMS và MEL [5]

Các thí nghiệm thực hiện với động cơ diesel Sulzer 9RTA84C hai kỳ, thấp tốc với công suất định mức tối đa 36.740 mã lực tại 102 vòng/phút và động cơ diesel Hyundai B&W 11K98ME7, thấp tốc với công suất 68.530 mã lực tại 97 vòng/phút trang bị trên tàu chở container [4]. Tổng phát thải từ hai động cơ đã được đo để đánh độ chính xác của PEMS và hệ thống đánh giá phát thải theo phương pháp SMM. Cả hai động cơ sử dụng nhiên liệu HFO trong vùng biển quốc tế đáp ứng thông số kỹ thuật ISO 8217.



Hình 3. Kết quả đo hàm lượng NO<sub>x</sub>, CO<sub>2</sub> khi đo bằng SMM và PEMS [10]

So sánh giữa các phép đo phát xạ với các thiết bị tuân thủ SMM và PEMS đã được thực hiện với các chế độ tải của động cơ phù hợp quy định trong chu kỳ thử nghiệm ISO 8178-4 E3 (100%, 75%, 50% và 25% công suất tối đa). Kết quả đo lường cho thấy sự tương đồng khi sử dụng hai phương pháp. Hàm lượng NO<sub>x</sub> khi đo bằng PEMS cho kết quả cao hơn 4,8% so với SMM. Trong khi đó kết quả đo CO<sub>2</sub> là rất trùng khớp, sai số 0,12%.

Trong nghiên cứu [8] Agrawal H. và cộng sự thực hiện đánh giá phát thải tàu chở dầu khi chạy biển. Hệ động lực bao gồm: máy chính Sulzer 6RTA72 là động cơ 2 kỳ, công suất 15750 kW; động cơ lai máy phát điện Wartsila Vasa 6R22/26 bốn kỳ, công suất 900 kW; nồi hơi phụ IHI, loại hai trống, diện tích bề mặt trao đổi nhiệt 679 m<sup>2</sup>. Nồng độ phát thải các chất khí SO<sub>2</sub> và NO<sub>x</sub> xác định bằng máy phân tích di động Horiba PG-250. Các kết quả đo được so sánh với dữ liệu của các

cơ quan quản lý có uy tín của Hoa Kỳ và đăng kiểm Anh (Bảng 1). Qua kết quả so sánh cho thấy độ tin cậy khi sử dụng máy phân tích di động, cho phép xác định đồng thời các chất khí độc hại trong khí thải từ tàu thủy.

**Bảng 1. So sánh kết quả đo bằng máy phân tích di động với các nguồn dữ liệu [8]**

Khí thải	Đơn vị	Kết quả đo	Dữ liệu đăng kiểm Lloyds	Cơ quan bảo vệ môi trường Hoa Kỳ (US EPA)	Hội đồng tài nguyên không khí California (CARB)
Động cơ lai máy phát điện					
NO <sub>x</sub>	g/kWh	13,57 ± 0,31	13,9	13,9	13,9
Máy chính					
NO <sub>x</sub>	g/kWh	19,87 ± 0,95	18,7	18,1	18,1
SO <sub>2</sub>	g/kWh	10,5	–	10,3	10,5
Nồi hơi					
NO <sub>x</sub>	kg/tấn	9,24 ± 0,09		12,3	–
SO <sub>2</sub>	kg/tấn	55,7	–	54	–

### 3. Kết luận

Báo cáo tổng quan tình hình tàu biển Việt Nam tháng 07/2016 cho thấy: Đội tàu biển Việt Nam có 1.895 tàu, tổng dung tích 5,13 triệu GT, tổng trọng tải 7,97 triệu DWT, độ tuổi trung bình là 17 năm. Do đó, có khoảng 20% số tàu đưa vào hoạt động sau ngày 01 tháng 01 năm 2000 sẽ bắt buộc kiểm tra và cấp giấy chứng nhận ngăn ngừa ô nhiễm không khí phù hợp với yêu cầu của Phụ lục VI. Việt Nam trong vai trò thành viên của IMO trong việc thực thi bảo vệ môi trường cần áp dụng quy trình kiểm tra phát thải đảm bảo tính chính xác, công bằng trước hết cho đội tàu trong nước và sau đó là các tàu quốc tế cập cảng Việt Nam. Cần thiết xây dựng hệ thống phòng thí nghiệm với đầy đủ các trang thiết bị theo hướng dẫn trong bộ luật kỹ thuật NO<sub>x</sub>, đồng thời cân nhắc giải pháp sử dụng thiết bị đo di động PEMS cho phép thực hiện đo đạc nhanh chóng, nhiều lần với mức độ chính xác cao, không làm ảnh hưởng đến lịch trình của tàu và các bên liên quan.

#### TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] MARPOL Convention 73/78, Annex VI, IMO, London.
- [2] Review of MARPOL Annex VI and the NO<sub>x</sub> Technical Code, *Compliance and Testing Issues for Tier 3 Engines*, IMO BLG/12/6/23, 30th November 2007.
- [3] Organization, I.M., Resolution MEPC 177(58): *Amendments to the technical code on control of emission of nitrogen oxides from marine diesel engines*. 2008b: IMO.
- [4] Balzani Lööv, J.M., et al., *Field test of available methods to measure remotely SO<sub>x</sub> and NO<sub>x</sub> emissions from ships*. 2014.
- [5] Johnson, K.C., et al. 2009. *On-road comparison of a portable emission measurement system with a mobile reference laboratory for a heavy-duty diesel vehicle*. Atmospheric Environment 43(18):2877-2883. doi:10.1016/j.atmosenv.2009.03.019
- [6] Gautam, M., et al., *Measurement of in-use, on-board emissions from heavy-duty diesel vehicles: Mobile emissions measurement system*. SAE Transactions, 2001: p. 2256-2269.
- [7] Testo 350 MARITIME. URL: [https://www.testo350.com/downloads/350-maritime/Brochure\\_350\\_Maritime.pdf](https://www.testo350.com/downloads/350-maritime/Brochure_350_Maritime.pdf).
- [8] Agrawal, H., et al., *Emissions from main propulsion engine on container ship at sea*. Journal of Geophysical Research: Atmospheres, 2010. 115(D23).
- [9] Khan, M.Y., et al., *Measuring in-use ship emissions with international and US federal methods*. Journal of the Air & Waste Management Association, 2013. 63(3): p. 284-291.
- [10] Chan, L., Carlson, D. H., and Johnson, J. H., "Evaluation and Application of a Portable Tailpipe Emissions Measurement Apparatus for Field Use," SAE Technical Paper No. 921647, 1992.

Ngày nhận bài: 28/3/2019  
 Ngày nhận bản sửa: 22/4/2019  
 Ngày duyệt đăng: 03/5/2019