

# NGHIÊN CỨU GIẢM THIỂU Ô XÍT LƯU HUỖNH (SO<sub>x</sub>) TRONG KHÍ XẢ ĐỘNG CƠ DIESEL TÀU THỦY BẰNG THÁP LỌC ƯỚT HỆ THỐNG KÍN

## RESEARCH ON SUNFUA OXIDE (SO<sub>x</sub>) EMISSIONS REDUCTION FOR MARINE DIESEL ENGINE BY THE CLOSED LOOP-TYPE WET SCRUBBER

PHẠM XUÂN DƯƠNG, TRẦN THẾ NAM\*

Trường Đại học Hàng hải Việt Nam

\*Email liên hệ: thenam@vimaru.edu.vn

### Tóm tắt

Trước các quy định về tiêu chuẩn hàm lượng các chất độc hại trong khí xả động cơ diesel, đặc biệt là phát thải SO<sub>x</sub> trong phụ lục VI MARPOL 73/78 của Tổ chức Hàng hải thế giới (IMO), trên cơ sở phân tích, đánh giá các giải pháp giảm thiểu SO<sub>x</sub>, nhóm tác giả nghiên cứu sử dụng thiết bị tháp lọc ướt hệ thống kín hấp thụ SO<sub>x</sub> lắp đặt trên đường ống xả của động cơ diesel tàu thủy. Tuy còn một số hạn chế, nhưng đây có thể coi là một trong những hướng đi phù hợp nhất hiện nay với điều kiện áp dụng cho đội tàu ở Việt Nam.

**Từ khóa:** Tháp lọc ướt, phát thải khí SO<sub>x</sub>, động cơ diesel tàu thủy, Công ước Marpol 73/78, môi trường biển.

### Abstract

In compliance with the regulations stipulated in Annex VI MARPOL 3/78 of the International Maritime Organization (IMO) for exhaust gas emissions from marine diesel engines, especially SO<sub>x</sub> emissions, based on careful analysis and assessment on SO<sub>x</sub> reduction solutions, the authors study on the SO<sub>x</sub> emissions closed loop type wet scrubber installed on exhaust gas outlet of marine diesel engines. Though of remained limitations, this solution seems to be the best choice for Vietnamese fleets in terms of effective application conditions.

**Keywords:** The wet scrubber, the SO<sub>x</sub> emissions, marine diesel engine, the Convention Marpol 73/78, marine environment.

### 1. Đặt vấn đề

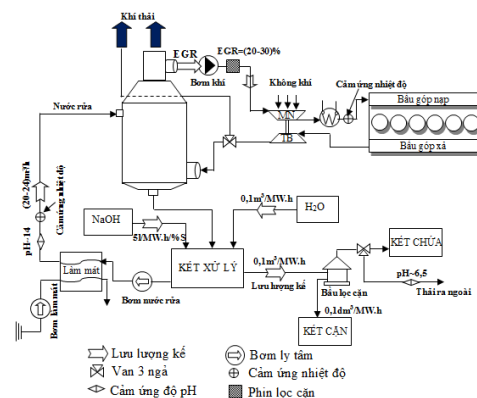
Nhằm giúp các con tàu vẫn đáp ứng được các tiêu chuẩn về phát thải khí SO<sub>x</sub>, cũng như đảm bảo tính cạnh tranh về vận tải với cước vận tải hợp lý, Tổ chức Hàng hải quốc tế đã mở ra giải pháp mang tính thực tế cao: Sử dụng kết hợp nhiên liệu có hàm lượng lưu huỳnh thấp và nhiên liệu truyền thống (HFO) cùng với

thiết bị xử lý khí SO<sub>x</sub>. Nhiên liệu có hàm lượng lưu huỳnh thấp được sử dụng khi tàu chạy trong vùng biển đặc biệt (ECA), còn khi tàu chạy ở vùng biển khác, có thể sử dụng nhiên liệu truyền thống kết hợp với thiết bị tháp lọc khí SO<sub>x</sub> trong khí thải động cơ. Với giải pháp này, con tàu có thể tiếp tục sử dụng nhiên liệu truyền thống (với hàm lượng lưu huỳnh theo thiết kế đến 3,5%) và hệ thống cấp nhiên liệu được giữ nguyên bản, không cần hoán cải hoặc thay thế.

Tháp lọc SO<sub>x</sub> có thể được phân loại như sau:

- Tháp lọc ướt: Sử dụng nước biển hoặc nước ngọt làm công chất xử lý;
  - Tháp lọc khô: Sử dụng chất hóa học khô.
- Nếu dựa vào hệ thống làm việc, có thể phân loại:
- Hệ thống hở: Sử dụng nước biển làm công chất xử lý;
  - Hệ thống kín: Sử dụng nước ngọt kết hợp với chất hóa học ba zơ;
  - Hệ thống kép: Có thể áp dụng cả hệ thống hở và hệ thống kín.

Mỗi loại lại có những điểm mạnh và yếu điểm riêng khi đứng trên các góc độ khác nhau để so sánh như: Năng lượng cần tiêu thụ, mức độ chiếm chỗ trên tàu, giá thành cho lắp đặt ban đầu và vận hành. Tuy nhiên đối với đội tàu biển của Việt Nam, nhóm tác giả đề xuất mô hình hệ thống tháp lọc để hấp thụ lượng ô xít lưu huỳnh trong khí thải như trên Hình 1.



Hình 1. Sơ đồ hệ thống tháp lọc khí thải SO<sub>x</sub> [1]

## 2. Thiết kế tháp lọc SO<sub>x</sub> kiểu ướt hệ thống kín

Để cụ thể hóa việc áp dụng hệ thống tháp lọc được thể hiện trên Hình 1, nhóm tác giả giới thiệu việc tính toán thiết kế chi tiết hệ thống tháp lọc cho động cơ diesel HANSHIN 6LU32 lắp đặt tại Trung tâm Nghiên cứu hệ động lực tàu thủy, Khoa Máy tàu biển, Trường Đại học Hàng hải Việt Nam.

Các bước thực hiện thiết kế tháp lọc khí SO<sub>x</sub> từ khí thải như sau:

- Lựa chọn hiệu suất làm việc của tháp lọc:  
 $P = \eta = 1 - (Y_{out}/Y_{in})$ ;

- Từ các thông số Yin, Yout và đường cân bằng, tính toán Lmin; ở đây cần lưu ý đến yếu tố (1+c) để tính sự thay đổi về mặt hóa học của SO<sub>2</sub>;

- Từ giá trị của Lmin có được, chọn giá trị L theo công thức  $1,5L_{min} \leq L \leq 3,0L_{min}$ ;

- Tính toán giá trị của thông số  $\beta = mV/(1+c)L$ ;

- Tính trị số N của các lớp, sử dụng biểu thức liên quan đến  $\eta$  và  $\beta$ ;

- Chọn giá trị chiều cao của đơn vị truyền (chuyển đổi) HTU;

- Tính chiều cao của tháp lọc  $H = N \cdot HTU$ ;

- Tính toán dòng lưu lượng khí gây ngập lụt từ đường cong ngập lụt (đồ thị ngập lụt);

- Tính vận tốc của dòng khí theo công thức  $v = 0,5(Gy/Py)$ ;

- Tính diện tích thiết diện tháp lọc và sau đó tính đường kính của tháp;

- Dự kiến lượng NaOH cần thiết cho tháp lọc.

### 2.1. Các thông số đầu vào phục vụ thiết kế

**Bảng 1. Đặc tính kỹ thuật của động cơ 6LU32 [2]**

TT	Các thông số	Giá trị
1	Động cơ HANSHIN	6LU32
2	Số xi lanh	i = 6
3	Vòng quay định mức	N = 340v/phút
4	Công suất định mức	Ne = 1300HP/970kW
5	Đường kính xi lanh	B = 320mm
6	Hành trình piston	S = 510mm
7	Tốc độ trung bình piston	W = 5,78m/s
8	Áp suất cháy lớn nhất	Pz = 90kG/cm <sup>2</sup>
9	Góc phun sớm	11° trước ĐCT
10	Suất tiêu hao nhiên liệu	g <sub>e</sub> = 200g/kW.h

Các thông số kỹ thuật của động cơ diesel 6LU32 được nêu trong Bảng 1.

**Bảng 2. Đặc tính nhiên liệu dành cho động cơ 6LU32 [1]**

Đặc tính nhiên liệu	Nhiên liệu diesel DO	Nhiên liệu nặng (FO)	
		Loại A	Loại B
Tỷ trọng ở 15°C (kg/m <sup>3</sup> )	0,82 - 0,84	0,82 - 0,86	< 0,92
Độ nhớt centistokes, 30°C Redwood, 30°C	2,5 - 3,2	< 20	< 29
Sức căng bề mặt nước/dầu (N/m)	30,1 ở 0°C 29,4 ở 15°C	0,025 ở 20°C	> 70
Sức căng bề mặt hỗn hợp với nước (N/m)	-	0,05 ở 20°C	
Hàm lượng lưu huỳnh (% theo khối lượng)	-	< 2,5%	> 2,5%

Các thông số lý hóa của nhiên liệu trong Bảng 2.

Như vậy đối với động cơ 6LU32 Hanshin, có thể sử dụng nhiên liệu DO và nhiên liệu HFO với hàm lượng lưu huỳnh lớn nhất đến 2,5% tính theo khối lượng.

### 2.2. Lựa chọn loại tháp lọc

Tháp lọc để xử lý phát thải khí độc hại SO<sub>x</sub>, hạt cặn rắn, và một số tạp chất khác phát sinh khi đốt cháy nhiên liệu là tháp lọc ướt hệ thống kết hợp. Vậy nên, tính toán thiết kế tháp lọc xử lý phát thải khí SO<sub>x</sub> cho động cơ diesel 6LU32 sẽ bao gồm:

- Tháp lọc dạng bọt khí nổi với các vật thể làm tăng bề mặt tiếp xúc giữa khí và nước (packing);

- Lựa chọn vật liệu cho tháp lọc;

- Lựa chọn loại vật thể làm tăng bề mặt tiếp xúc;

- Hệ thống ống, các bơm, các loại van,...;

- Các loại kết: kết thu gom, kết chứa cặn, kết chứa nước thải,...;

- Thiết bị tự động kiểm soát quá trình hoạt động và các phần tử cảm ứng.

Một số thông số tính toán tháp lọc được lựa chọn như sau:

- Lưu lượng khí thải: 3342kg/h hoặc 56kg/phút;

- Loại packing (vật thể làm tăng bề mặt tiếp xúc giữa khí và chất lỏng): Loại pall ring làm bằng vật liệu PP (1 inch hoặc 2 inch); Chiều cao lớp packing: HTU=8,1 (1 inch) hoặc 12 (2 inch); Hệ số Fp: 52 (1 inch); 40 (1.1/2 inch);

- Nồng độ SO<sub>2</sub> (Nhiên liệu nặng HFO) là 0,2%;  
 - Hệ số chuyển đổi giữa SO<sub>2</sub> và H<sub>2</sub>SO<sub>3</sub> - kí hiệu là c = 6;

- Dự kiến lượng nước cấp để rửa khí là: L = 1,8L<sub>min</sub>;

Hiệu suất lọc của tháp lấy là: η = 95% (0,95).

### 2.3. Tính toán, thiết kế tháp lọc

#### 2.3.1. Tính lượng khí thải của động cơ

Công thức chung [3]:

$$G_{kt} = G_{nl}.L_0.\alpha.\varphi, \text{kg/h} \quad (1)$$

Trong đó: G<sub>kt</sub> - Lượng khí thải của động cơ (kg/h);  
 G<sub>nl</sub> - Lượng tiêu thụ nhiên liệu của động cơ (kg/h); α - Hệ số dư lượng không khí; φ - Hệ số tốc độ dòng khí, đối với động cơ 2 kì là 1,45 còn động cơ 4 kì là 1,1.

Vậy, lưu lượng khí thải của động cơ 6LU32 sẽ được xác định như sau:

$$G_{kt} = 970 \text{ kW} \cdot 0,2 \text{ kg/kWh} \cdot 14,5 \cdot 1,8 \cdot 1,1 = 5569,74 \text{ kg/h} = 92,83 \text{ kg/phút} = 4701,79 \text{ m}^3/\text{h} \quad (2)$$

(Tỷ trọng của khí thải động cơ diesel là: 1,1846 kg/m<sup>3</sup>)

Khi động cơ làm việc ở 60% công suất định mức thì lưu lượng khí cần tính toán cho tháp lọc là: 3341,84 kg/h = 55,69 kg/phút ~ 56 kg/phút.

#### 2.3.2. Thuật toán tính kích thước tháp lọc ướt

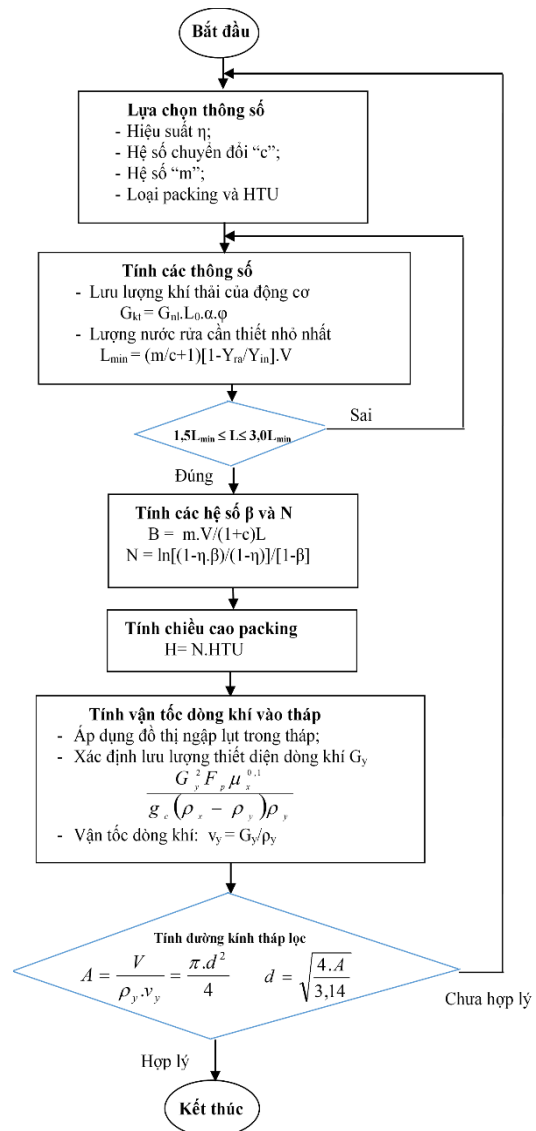
Trên Hình 2 biểu thị thuật toán tính thiết kế các thông số kỹ thuật cơ bản của tháp lọc ướt cho động cơ 6LU32 [4].

Thiết kế tháp lọc không để xảy ra hiện tượng ngập lụt cũng chính là giải pháp để loại trừ hiện tượng phản áp trên đường thải của động cơ diesel.

Thông số cuối cùng được tính toán trong quá trình thiết kế chính là đường kính của tháp lọc. Đường kính tháp lọc quyết định đến vị trí, không gian đặt tháp lọc.

#### 2.3.3. Vật liệu của tháp lọc

Tháp lọc là thiết bị chịu áp suất không lớn. Thông thường, áp suất trong tháp lọc khoảng 0,1MPa và nhiệt độ khoảng 50°C. Vậy nên, sức bền của tháp lọc được tính toán thông qua bề dày của vật liệu làm vỏ tháp lọc. Vật liệu được lựa chọn để làm tháp lọc thường là loại thép chống ăn mòn như là thép carbon thấp (Mild Steel).



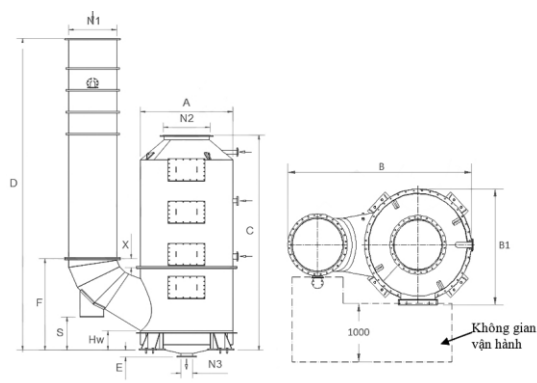
Hình 2. Thuật toán tính thiết kế tháp lọc

#### 2.3.4. Các thông số kỹ thuật của tháp lọc

Hình ảnh và bản vẽ thiết kế tháp lọc được biểu diễn trên Hình 3 và 4.



Hình 3. Hình ảnh tháp lọc



Hình 4. Bản vẽ thiết kế tháp lọc

Các thông số cơ bản của tháp lọc sau khi tính toán, thiết kế được thể hiện tại Bảng 3.

Bảng 3. Các thông số cơ bản của tháp lọc SO<sub>x</sub> sử dụng cho động cơ 6LU32

TT	Thông số kĩ thuật	Giá trị
1	Đường kính của tháp (N <sub>2</sub> )	0,80m
2	Chiều cao tổng của tháp (D)	3,0m
3	Chiều cao lớp tầng bề mặt tiếp xúc (C)	1,08m
4	Bề dày tường tháp lọc	0,03m (3mm)
5	Lưu lượng nước rửa	20 - 24m <sup>3</sup> /h
6	Lưu lượng cấp NaOH	5l/MW.h/%S;
7	Cặn thải	0,1 - 0,4kg/MW.h
8	Thể tích kết chứa và xử lý nước rửa	1,8 - 2,4m <sup>3</sup>
9	Bầu sinh hàn nước rửa	15 - 22m <sup>3</sup>
10	Năng suất bầu lọc cặn	300l/h
11	Đường kính cửa khí vào tháp lọc (N <sub>2</sub> )	0,5m
12	Đường kính cửa thoát khí từ tháp lọc (N <sub>1</sub> )	0,4m
3	Đường kính cửa vào ống venturi	0,4m
14	Kích thước phần tử tầng bề mặt tiếp xúc	0,025m
15	Vật liệu chế tạo tháp lọc	Thép carbon

### 3. Thử nghiệm

#### 3.1. Kết quả thử nghiệm

Các mẫu thử nghiệm được lấy theo hai giai đoạn: Động cơ làm việc với nhiên liệu DO và nhiên liệu FO khi không đi qua tháp lọc và đi qua tháp lọc. Thời gian thử nghiệm và lấy mẫu được thực hiện khoảng 10 giờ hoạt động của động cơ. Trên Bảng 4 thể hiện nồng độ phát thải khí SO<sub>x</sub> khi động cơ Hanshin 6LU32 làm việc với nhiên liệu DO và FO.

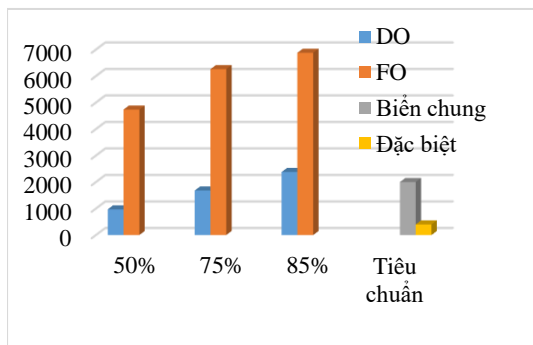
Bảng 4. Phát thải khi động cơ làm việc với DO và FO [4]

Nhiên liệu DO						
Thông số phát thải SO <sub>x</sub>	Chế độ tải					
	50%		75%		85%	
	mg/ Nm <sup>3</sup>	mg/k W.h	mg/ Nm <sup>3</sup>	mg/k W.h	mg/ Nm <sup>3</sup>	mg/k W.h
Không qua tháp lọc	820	971	1420	1681	1950	2380
Qua tháp lọc	760	900	1267	1500	1638	2000
Nhiên liệu FO						
Thông số phát thải SO <sub>x</sub>	Chế độ tải					
	50%		75%		85%	
	mg/ Nm <sup>3</sup>	mg/k W.h	mg/ Nm <sup>3</sup>	mg/k W.h	mg/ Nm <sup>3</sup>	mg/k W.h
Không qua tháp lọc	4000	4736	5290	6263	5810	6880
Qua tháp lọc	3463	4100	4561	5400	5067	6000

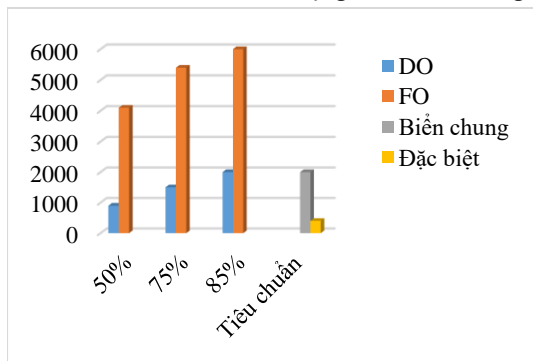
#### 3.2. Phân tích và đánh giá

Các số liệu đo đạc về hàm lượng khí SO<sub>x</sub> (SO<sub>2</sub>) trong khí xả động cơ diesel 6LU32 ở các chế độ khác nhau với các loại nhiên liệu khác nhau, cùng với giới hạn về phát thải SO<sub>x</sub> được thể hiện tại Phụ lục VI, MARPOL 73/78, sẽ xây dựng được đồ thị so sánh tại Hình 5, 6. Hình 5 biểu diễn dữ liệu thử nghiệm về phát thải khí SO<sub>x</sub> khi không cho qua tháp lọc và tiêu chuẩn phát thải SO<sub>x</sub> theo quy định của IMO.

Trên cơ sở các dữ liệu thí nghiệm về xử lý phát thải khí độc hại SO<sub>x</sub> tại Bảng 5 có thể xây dựng được đồ thị so sánh giữa hàm lượng khí SO<sub>x</sub> khi cho động cơ làm việc với các loại nhiên liệu khi được xử lý và so sánh với tiêu chuẩn phát thải (Hình 6).



Hình 5. Phát thải SO<sub>x</sub> khi sử dụng DO và FO không



Hình 6. Phát thải SO<sub>x</sub> khi sử dụng DO và FO đã qua

thấp lọc

Sau đây là một số nhận xét:

- Nếu để động cơ chạy bằng nhiên liệu DO nguyên chất với hàm lượng lưu huỳnh S=0,5% (Bảng 4) và không xử lý khí xả sau động cơ, thì hàm lượng phát thải khí SO<sub>x</sub> đạt tiêu chuẩn phát thải ở vùng biển chung (2000mg/kW.h) mà không cần xử lý, tuy nhiên chưa đạt được tiêu chuẩn phát thải được qui định đối với vùng biển đặc biệt (400mg/kW.h) và điều này được thể hiện rất rõ tại Hình 5;

- Nếu để động cơ chạy bằng nhiên liệu DO, kết hợp với xử lý khí xả sau động cơ bằng tháp lọc SO<sub>x</sub>, các kết quả đo nồng độ SO<sub>x</sub> cho thấy thấp hơn tiêu chuẩn phát thải SO<sub>x</sub> được qui định đối với các vùng biển đặc biệt;

- Trường hợp động cơ chạy bằng nhiên liệu FO nguyên chất với hàm lượng lưu huỳnh S=1,5% (Bảng 4), khí thải không được xử lý, thì hàm lượng khí SO<sub>x</sub> trong khí thải đạt mức 6000mg/kWh ở chế độ tải 85%. Như vậy hàm lượng khí SO<sub>x</sub> cao gấp khoảng 3 lần so với tiêu chuẩn phát thải SO<sub>x</sub> tại vùng biển chung và cao gấp 15 lần so với tiêu chuẩn phát thải SO<sub>x</sub> ở vùng biển đặc biệt;

- Trường hợp cho động cơ làm việc với nhiên liệu FO với khí thải được xử lý bằng tháp lọc, hàm lượng khí SO<sub>x</sub> trong khí thải động giảm rất nhiều và phần lớn các trường hợp đo được nồng độ SO<sub>x</sub> trong khí

thải ở các trạng thái tải khác nhau đối với các loại nhiên liệu khác nhau đều ở mức dưới tiêu chuẩn phát thải khí SO<sub>x</sub> ở vùng biển chung, tương đương nồng độ SO<sub>x</sub> được qui định cho vùng biển đặc biệt (Hình 6).

#### 4. Kết luận

Kết quả nghiên cứu cho động cơ Hanshin 6LU32 đã đạt được các kết quả phù hợp với mục tiêu nghiên cứu và các chỉ tiêu kiểm soát phát thải SO<sub>x</sub> do Tổ chức Hàng hải quốc tế (IMO) đề ra:

- Hệ thống được thiết kế xử lý đến 95% lượng phát thải SO<sub>x</sub> trong khí thải khi động cơ diesel sử dụng nhiên liệu nặng HFO với hàm lượng lưu huỳnh đến 3,5%. Hệ thống không chỉ làm sạch khí SO<sub>x</sub>, mà còn có khả năng loại 70% hàm lượng cặn rắn;

- Tháp lọc khí phát thải SO<sub>x</sub> được thiết kế dưới dạng hệ thống tuần hoàn kín; Có nghĩa là khí SO<sub>x</sub> sẽ được nước ngọt hấp thụ và sau đó nước ngọt ra khỏi tháp lọc được trung hòa bằng hóa chất NaOH. Tiêu thụ NaOH khoảng 50lít/MW.h và nước rửa thải ra ngoài cũng như lượng nước ngọt được bổ sung khoảng 0,1m<sup>3</sup>/MW.h;

- Nước thải sẽ được lọc sạch cặn và được làm trung hòa đến nồng độ pH=6,5 trước khi thải ra môi trường biển;

- Khí thải sau khi được làm sạch cặn cứng và khí SO<sub>x</sub> sẽ được trích một phần để sử dụng lại với mục đích xử lý phát thải khí NO<sub>x</sub> (EGR)

#### TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Phạm Xuân Dương (chủ biên) và các tác giả. *Kỹ thuật xử lý khí thải gây ô nhiễm từ động cơ diesel tàu thủy đáp ứng Phụ lục VI, Công ước Marpol 73/78*. NXB Khoa học và Kỹ thuật, 2020.
- [2] Trung tâm Nghiên cứu hệ động lực tàu thủy - Khoa Máy tàu biển, Trường Đại học Hàng hải Việt Nam, *Hồ sơ kỹ thuật động cơ HANSHIN 6LU32*.
- [3] Đặng Văn Uy. *Kỹ thuật khai thác hiệu quả hệ động lực tàu thủy*. NXB Hải Phòng. 2016.
- [4] Đặng Văn Uy và các cộng sự. *Xây dựng lộ trình và giải pháp xử lý khí độc hại trong khí thải động cơ diesel thủy đáp ứng yêu cầu của các công ước quốc tế Marpol cho đội tàu biển Việt Nam*. Đề tài nghiên cứu khoa học cấp Bộ Giao thông vận tải, Mã số MT171002. 2017.
- [5] Tổ chức Hàng hải Thế giới (IMO). *Công ước Quốc tế về ngăn ngừa ô nhiễm do tàu biển gây ra 73/78 (MARPOL 73/78)*.

Ngày nhận bài:	30/6/2021
Ngày nhận bản sửa:	01/8/2021
Ngày duyệt đăng:	06/8/2021