

SỬ DỤNG BỘ LỌC KALMAN ĐỂ LỌC NHIỀU KHI ĐO MỨC NHIÊN LIỆU
TRONG KẾT TRÊN TÀU BẰNG CẢM BIẾN RADARUSING KALMAN FILTER TO FILTER INTERFERENCE (NOISES OR
DISTURBANCES) WHEN MEASURING FUEL LEVEL IN THE TANK ON THE
VESSEL BY RADAR SENSORĐỖ THỊ HIỀN¹, TRẦN THẾ NAM², TRẦN HỒNG HÀ^{1*}¹Khoa Máy tàu biển, Trường Đại học Hàng hải Việt Nam²Phòng Khoa học - Công nghệ, Trường Đại học Hàng hải Việt Nam

*Email liên hệ: tranhongha@vimaru.edu.vn

Tóm tắt

Theo các quy định mới của IMO về việc các công ty tàu biển phải báo cáo thường xuyên dữ liệu nhiên liệu tàu biển từ 2019. Do vậy các tàu biển phải thường xuyên đo đạc và báo cáo dữ liệu về các công ty bằng sử dụng các phương pháp như đo kết, đồng hồ lưu lượng hoặc phiếu nhận dầu. Khi tàu biển đang hoạt động trên biển, việc đo và giám sát mức nhiên liệu trong kết chứa của tàu là vấn đề hết sức khó khăn và không chính xác do tàu luôn bị nghiêng lắc mạnh ở các điều kiện sóng gió khác nhau. Do điều kiện tàu nghiêng lắc mạnh đã làm mức nhiên liệu trong kết luôn dao động và không ổn định. Bài báo tập trung nghiên cứu việc sử dụng thuật toán Kalman để lọc nhiễu khi đo mức nhiên liệu để có được dữ liệu về mức nhiên liệu trong kết chính xác theo thời gian thực. Từ đó có thể tính toán chính xác lượng nhiên liệu còn lại trong các kết trên tàu và tự động báo cáo liên tục số liệu nhiên liệu về công ty theo thời gian thực ở các điều kiện hoạt động khác nhau của tàu.

Từ khóa: Tàu biển, Kalman, nhiên liệu.**Abstract**

Under new IMO regulations, shipping companies must regularly report fuel data from 2019. Therefore, ships must regularly measure and report data on companies using methods such as tank measurements, flow meters or oil receipts. When a ship is operating at sea, measuring and monitoring the fuel level in the ship's tank is a very difficult and inaccurate problem because the ship is always tilted strongly in different sea conditions. Due to the strong tilting and shaking conditions, the fuel level in the tank is always fluctuating and unstable. This paper focuses on studying the use of Kalman algorithm to filter noise when measuring fuel level to get accurate data on fuel level in the tank in real time. From

there it is possible to accurately calculate the amount of fuel remaining in the tanks on board and automatically report the fuel data to the company in real time under different operating conditions of the new IMO ships in terms of fuel consumption. Shipping companies must regularly report ship fuel data from November 1, 2021. Therefore, ships must regularly measure and report data on companies using methods such as tank measurements, flow meters or oil receipts. When a ship is operating at sea, measuring and monitoring the fuel level in the ship's tank is a very difficult and inaccurate problem because the ship is always tilted strongly in different windy conditions. Due to the strong tilting and shaking conditions, the fuel level in the tank is always fluctuating and unstable. This paper focuses on studying the use of Kalman to filter noise when measuring fuel level to get accurate data of fuel level in the tank in real time. From there, it is possible to accurately calculate the amount of fuel remaining in the tanks on board and automatically continuously report fuel data to the company in real time under different operating conditions of the ship.

Keywords: Ship, Kalman, fuel oil.**1. Mở đầu**

Bắt đầu từ năm 2013, tổ chức hàng hải quốc tế IMO đã ban hành các quy định mới liên quan đến việc thu thập nhiên liệu và báo cáo về dữ liệu nhiên liệu của từng tàu hàng năm cho cơ quan đăng kiểm với mục đích bảo vệ môi trường biển và bảo vệ môi trường không khí [1]. Các tàu có tổng dung tích từ 5000 MT trở lên, hoạt động tự hành và chạy tuyến quốc tế đều phải báo cáo dữ liệu tiêu thụ nhiên liệu hàng năm cho IMO.

Lượng tiêu thụ nhiên liệu trên tàu phải báo cáo bao gồm cả máy chính, máy phụ, nồi hơi và các thiết bị khác sử dụng nhiên liệu trên tàu kể cả tàu đang hành trình trên biển hoặc không hành trình trên biển. Trong

các phương pháp thu thập nhiên liệu trên tàu như sử dụng phiếu giao nhận nhiên liệu, thiết bị đo lường và giám sát kết nhiên liệu trên tàu thì phương pháp giám sát kết nhiên liệu là phương pháp thu thập chính xác nhất. Việc đo kết nhiên liệu bằng phương pháp này được thực hiện hàng ngày khi tàu chạy trên biển và tại thời điểm tàu vào bờ để nhận nhiên liệu. Khi tàu chạy trên biển do luôn bị sóng gió tác động với các mức độ khác nhau, tàu bị nghiêng lắc mạnh làm mức nhiên liệu trong các két bị dao động mạnh. Với các thiết bị đo tự động hoặc bằng tay hiện nay được trang bị trên các tàu biển, khi thực hiện đo kết sẽ cho kết quả đo không chính xác và gây khó khăn cho việc thu thập nhiên liệu bằng phương pháp giám sát các két. Trong các nghiên cứu về hệ thống giám sát nhiên liệu từ xa và tự động vẫn chưa có nghiên cứu nào đề cập đến vấn đề đo các két ở điều kiện nghiêng lắc. Từ vấn đề cấp thiết nêu trên nhóm nghiên cứu đã thiết kế hệ thống giám sát kết nhiên liệu trên cơ sở ứng dụng thuật toán Kalman để lọc các nhiễu về mức nhiên liệu trong các két khi bị dao động do tác động của sóng biển bên ngoài tàu.

2. Thuật toán Kalman ứng dụng trong hệ thống giám sát nhiên liệu

Thuật toán Kalman sẽ thực hiện thủ tục đệ quy như gồm 2 thủ tục “đo lường” và “dự đoán”:

- Thủ tục cập nhật đo lường (Measurement): Thực hiện tính hệ số Kalman và cập nhật giá trị đầu ra;

- Thủ tục dự đoán (Prediction): Sẽ cập nhật bên trạng thái và tính ma trận hiệp phương sai.

▪ Quá trình dự đoán

Bộ lọc Kalman dựa vào trạng thái ước lượng điều chỉnh $\hat{x}_{k|k}$ - Là ước lượng của x_k để ước lượng trạng thái $\hat{x}_{k+1|k}$ - Là ước lượng dự đoán của x_{k+1} cho phép đo z_{k+1} Trạng thái dự đoán:

$$\hat{x}_{k+1|k} = F_k \hat{x}_{k|k} + G_k u_k \quad (1)$$

Hiệp phương sai ước lượng dự đoán:

$$P_{k+1|k} = F_k P_{k|k} F_k^T + Q_k \quad (2)$$

Đo lường dự đoán:

$$\hat{z}_{k+1|k} = H_{k+1} \hat{x}_{k+1|k} \quad (3)$$

▪ Quá trình điều chỉnh

Độ lệch đo lường:

$$\Gamma_{k+1} = z_{k+1} - H_{k+1} \hat{x}_{k+1|k} \quad (4)$$

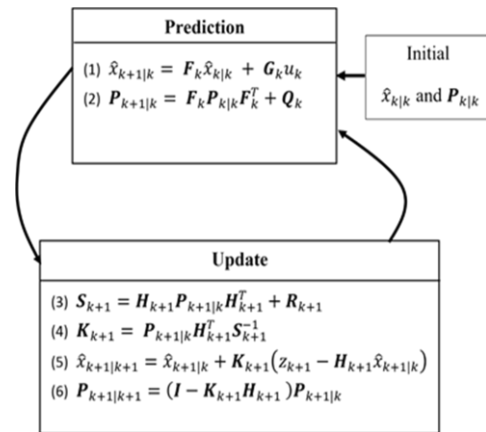
Hiệp phương sai độ lệch:

$$S_{k+1} = H_{k+1} P_{k+1|k} H_{k+1}^T + R_{k+1} \quad (5)$$

Độ lồi Kalman:

$$K_{k+1} = P_{k+1|k} H_{k+1}^T S_{k+1}^{-1} \quad (6)$$

Trạng thái ước lượng điều chỉnh:



Hình 1. Sơ đồ thuật toán Kalman

$$\hat{x}_{k+1|k+1} = \hat{x}_{k+1|k} + K_{k+1} \Gamma_{k+1} \quad (7)$$

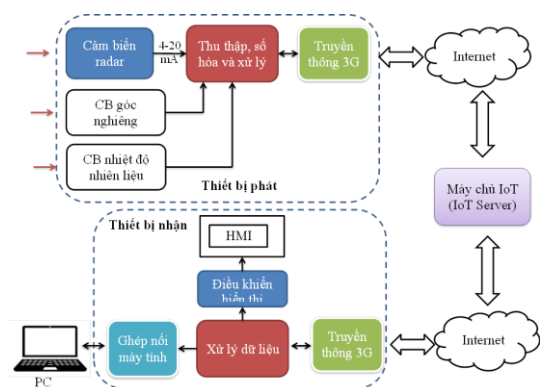
Hiệp phương sai ước lượng điều chỉnh:

$$P_{k+1|k+1} = (I - K_{k+1} H_{k+1}) P_{k+1|k} \quad (8)$$

Cùng với các điều kiện ban đầu trong ước lượng và ma trận hiệp phương sai lỗi của nó đã định nghĩa một giải thuật rời rạc hóa về thời gian và đệ quy để xác định hiệp phương sai ước lượng tuyến tính tối thiểu được gọi là bộ lọc Kalman. Bộ lọc Kalman được sử dụng để đưa vào chương trình của phần mềm giám sát nhiên liệu với mục đích để lọc nhiễu khi mức nhiên liệu biến động ở các điều kiện khác nhau của kết nhiên liệu và giữ ổn định mức nhiên liệu được đo từ cảm biến radar.

3. Hệ thống đo mức nhiên liệu sử dụng cảm biến

3.1. Cấu hình hệ thống giám sát nhiên liệu



Hình 2. Cấu trúc của hệ thống thu thập, quản lý và giám sát nhiên liệu tiêu thụ

Hệ thống tự động quản lý và giám sát lượng nhiên liệu trong két sẽ bao gồm: Thiết bị đo mức nhiên liệu sẽ được lắp trong két nhiên liệu của tàu, hệ thống xử lý dữ liệu cảm biến và hệ thống truyền thông tin về

trung tâm giám sát. Mức nhiên liệu trong két nhiên liệu sẽ được đo liên tục sau đó truyền dữ liệu về máy chủ để xử lý kết quả đo.

Các thành phần trong hệ thống:

- Cảm biến radar: Cảm biến đo mức nhiên liệu trong két dựa trên nguyên lý phản xạ sóng radar;
- Cảm biến góc nghiêng: Cảm biến đo độ nghiêng của két để xác định mức nhiên liệu trong két;
- Cảm biến nhiệt độ: Cảm biến đo nhiệt độ nhiên liệu để xác định được khối lượng nhiên liệu;
- HMI (Human Machine Interface): Màn hình hiển thị giá trị đo;
- Máy chủ IoT: Máy chủ sử dụng để kết nối thiết bị phát và thiết bị nhận qua mạng internet.

Cảm biến đo mức dạng radar được lắp trong két dầu. Mức lượng nhiên liệu trong két được cảm biến đo và chuyển đổi thành tín hiệu dòng điện 4-20mA là tín hiệu tương tự tỉ lệ với mức nhiên liệu được đưa tới khối thu thập và số hóa và xử lý. Ở đây tín hiệu dòng điện 4-20mA được chuyển đổi thành tín hiệu số. Tại đây các dữ liệu về lượng nhiên liệu trong két sẽ được tính toán dựa trên dữ liệu nhận được từ cảm biến mức sau đó được đóng gói thành các dữ liệu gửi tới máy chủ IoT thông qua mạng di động 3G/4G. Máy chủ IoT tiếp nhận các thông tin đó và thiết lập các dữ liệu và gửi đến trung tâm giám sát từ xa.

Tại trung tâm giám sát, thiết bị nhận sẽ thu thập dữ liệu gửi tới từ server và thực hiện phân tách dữ liệu để thu được kết quả đo. Sau khi phân tách dữ liệu thì dữ liệu sẽ được gửi tới máy tính để hiển thị và thực hiện thiết lập các báo cáo tiêu thụ nhiên liệu tự động.

Chức năng của hệ thống:

- Giám sát lượng nhiên liệu trong két;
- Truyền thông về trung tâm giám sát liên tục theo chu kỳ 1 giây/lần;
- Báo cáo thống kê chi tiết, trực quan quá trình sử dụng nhiên liệu của tàu và gửi về trung tâm theo quy định.

3.2. Cảm biến radar FMP51

Cảm biến radar FMP51 hoạt động theo phương pháp ToF (ToF = Thời gian truyền). Khoảng cách từ điểm chuẩn đến bề mặt sản phẩm được đo. Xung tần số cao được đưa vào một đầu dò và dẫn dọc theo đầu dò. Các xung được phản xạ từ bề mặt sản phẩm, sau đó được cảm biến từ tiếp nhận và chuyển thành thông tin. Phương pháp này cũng được biết đến dưới dạng TDR (Đo phản xạ miền thời gian). Các xung phản xạ được truyền từ đầu dò đến thiết bị điện tử. Ở đó, một bộ vi xử lý phân tích tín hiệu và xác định tiếng vọng

Bảng 1. Các thông số của cảm biến radar

Tham số	Giá trị	Đơn vị
Nhà sản xuất	Endress houser	
Loại cảm biến	FMP51	
Nhiệt độ làm việc	-196÷ 450	°C
Phạm vi đo mức	0÷ 45	m
Phạm vi đo áp suất	-1÷ 400	bar
Truyền tín hiệu	Bus	
Độ chính xác	1450	v/ph

mức được tạo ra bởi sự phản xạ của các xung tần số cao tại bề mặt sản phẩm. Hệ thống phát hiện tín hiệu với xung quy trình thời gian bay đã được tích hợp vào sự phát triển của phần mềm PulseMaster®.

Khoảng cách D đến bề mặt sản phẩm tỷ lệ với thời gian truyền t của xung lực:

$$D=c.t/2 \quad (9)$$

Trong đó: c: Là tốc độ ánh sáng; t: Thời gian truyền xung.

Dựa trên khoảng cách trống E đã biết, mức L được tính:

$$L=E-D \quad (10)$$

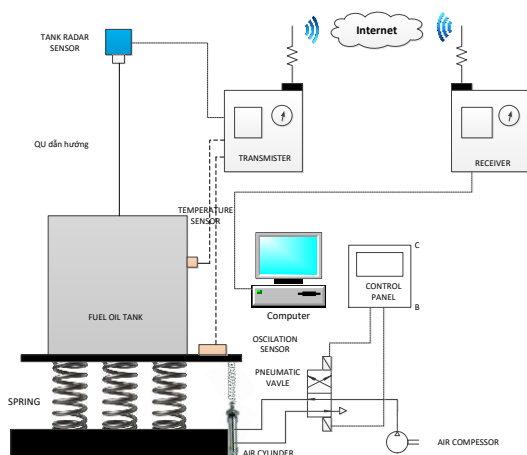
Cảm biến radar FMP51 có que dẫn hướng sóng ra đa, chiều dài được chế tạo theo độ sâu của từng két khác nhau, chỉ ứng dụng cần nhập các thông số tự động điều chỉnh thiết bị phù hợp với các điều kiện đo. Đối với các mô hình với đầu ra hiện tại, điều chỉnh của máy đối với điểm không E và khoảng F là 4mA và 20mA, đối với kỹ thuật số đầu ra và mô-đun hiển thị 0% và 100%. Một chức năng tuyến tính hóa với tối đa 32 điểm, dựa trên trên bảng được nhập thủ công hoặc bán tự động, có thể được kích hoạt tại chỗ hoặc thông qua thao tác từ xa. Chức năng này cho phép chuyển đổi mức độ thành đơn vị thể tích hoặc khối lượng.

3.3. Thử nghiệm hệ thống giám sát nhiên liệu

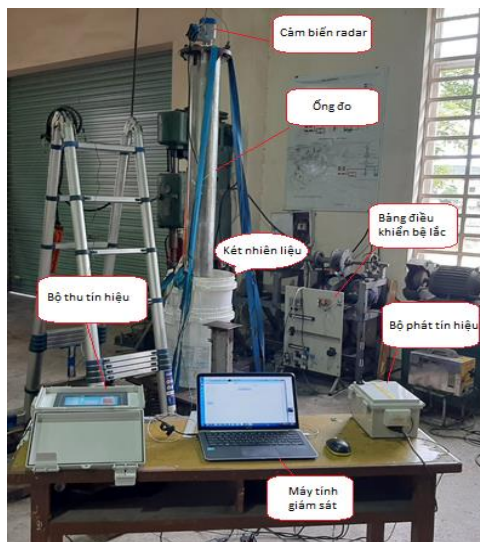
Hệ thống đo và giám sát nhiên liệu trong phòng thí nghiệm được bao gồm một két chất lỏng được đặt trên bộ tạo rung lắc bằng lò xo, bộ được điều khiển bằng xi lanh khí nén để rung lắc ở các mức độ khác nhau từ 5-15 độ. Sơ đồ đo mức trong két tại phòng thí nghiệm.

Sơ đồ thí nghiệm thực tế như trên hình 4 bao gồm các thiết bị sau:

- Két hình trụ được làm bằng nhựa đường kính 40 cm, cao 80cm;
- Bộ rung lắc được điều khiển bằng khí nén lắp trên ba lò xo đàn hồi có thể lắc đến 45 độ;



Hình 3. Sơ đồ thí nghiệm hệ thống giám sát nhiên liệu



Hình 4. Sơ đồ thí nghiệm

- Cảm biến radar FMP51;
- Bộ phát tín hiệu: Đo ba thông số là độ nghiêng lắc của két, nhiệt độ và mức của nhiên liệu. Bộ phát tín hiệu sử dụng internet 3G để phát tín hiệu;
- Bộ thu tín hiệu: Thu tín hiệu từ bộ phát sau đó truyền tới máy tính qua cổng USB;
- Máy tính giám sát: Có phần mềm giám sát lượng nhiên liệu trong từng két.

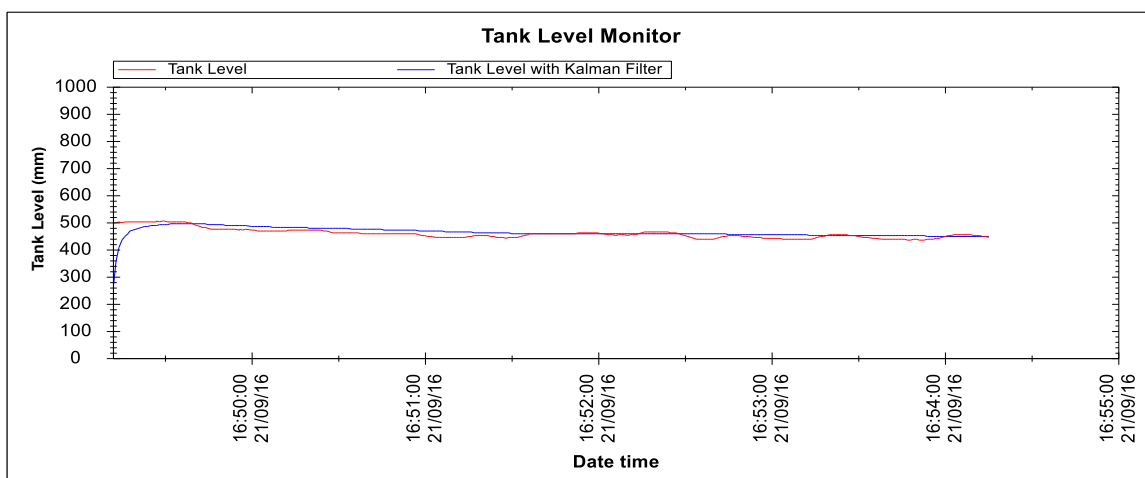
Két nhiên liệu được đặt trên bộ, bộ được nằm trên ba lò xo. Ba lò xo này có tác dụng tạo ra lực đẩy đàn hồi và tạo ra độ lắc theo chu kỳ, do vậy tạo ra đệm nghiêng lắc mềm cho két nhiên liệu. Bộ được xy lanh khí nén điều khiển độ lắc theo các mức độ khác nhau nhờ các van tiết lưu điều chỉnh lưu lượng khí nén ra và vào các xy lanh. Bộ được điều khiển nghiêng lắc theo chu kỳ. Trong két được lắp ống kim loại đường kính 250mm có chiều dài 2m để dẫn hướng cho sóng radar phát ra và phản xạ từ các bề mặt chất lỏng tới radar.

Bộ thu sẽ lấy tín hiệu của ba cảm biến: cảm biến mức bằng radar, cảm biến độ nghiêng lắc, cảm biến nhiệt độ. Các tín hiệu này được truyền đến bộ thu, tại bộ thu các tín hiệu được xử lý và truyền tới máy tính để hiển thị các thông số được đo qua giao diện của phần mềm giám sát két nhiên liệu.

4. Kết quả đo và phân tích số liệu

4.1. Thu thập và xử lý số liệu thực nghiệm

Mức nhiên liệu ở 500mm được đo theo thời gian thực được ghi lại trong nhật ký của phần mềm, số liệu có thể được ghi lại thành file world. Tỷ trọng nhiên liệu thay đổi thay nhiệt độ đo được trong két. Nhiệt độ ở 18,5°C tỷ trọng 860kg/m³ với két tròn khối lượng được tính là 148,95kg.



Hình 5. Mức nhiên liệu trong két được đo ở 500 mm

trị đo ổn định không thay đổi theo thời gian như trong Hình 6.

Trong Hình 7 thể hiện độ lắc ngang của két được đo theo thời gian thực. Cảm biến lấy góc 90° làm góc “0” để đo biên độ lắc ngang của két.

Nhiên liệu trong két trên tàu trên tàu được đo sau đó được phần mềm quản lý và giám sát tính toán. Kết quả được tự động ghi vào biểu mẫu theo quy định của IMO như Hình 8.

5. Kết luận

Hệ thống hệ thống tự động thu thập, quản lý, báo cáo nhiên liệu sử dụng của các hệ thống kỹ thuật trên tàu thủy do nhóm tác giả thiết kế, chế tạo đã thử nghiệm thành công, tuân thủ theo các tiêu chuẩn của IMO. Điều này mang lại ý nghĩa thực tiễn lớn, thể hiện năng lực làm chủ công nghệ kỹ thuật, hướng tới việc thương mại hóa sản phẩm với giá thành thấp hơn so với sản phẩm cùng loại trên thế giới. Ngoài lợi ích về mặt kinh tế, nghiên cứu này còn có ý nghĩa lớn về mặt góp phần vào nhiệm vụ thống kê tiêu thụ nhiên liệu trong hoạt động hàng hải của IMO, làm tiền đề cho việc đánh giá toàn diện lượng phát thải các chất gây ô nhiễm không khí từ các phương tiện vận tải trên thế giới.

Hệ thống tự động thu thập nhiên liệu mới chỉ được thử nghiệm với các điều kiện của phòng thí nghiệm. Hệ thống sẽ được thử nghiệm trên tàu để đánh giá được sự ổn định và độ chính xác của hệ thống. Khi được áp dụng trên tàu, hệ thống sẽ giúp cho người khai thác tàu có thể giám sát lượng nhiên liệu một cách liên tục, từ đó có những biện pháp để tiết kiệm nhiên liệu và giảm thiểu ô nhiễm môi trường.

Lời cảm ơn

Nghiên cứu này được tài trợ bởi Trường Đại học Hàng hải Việt Nam trong đề tài mã số: **DT21-22.18**.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] IMO, *ANNEX 19 RESOLUTION MEPC. Vol. 203(62)* Adopted on 15 July 2011.
- [2] Tạ Quốc Dũng, Lê Thế Hà, Phạm Duy Khang, *ứng dụng mạng neuron nhân tạo (ANN) trong dự báo độ rỗng*, Tạp chí Dầu khí, Số 7, tr.18-27, 2019.
- [3] Henric Lassesson, Karin E Andersson, *Energy efficiency in shipping - Review and evaluation of the state of knowledge*, Göteborg, Sweden, 2009.
- [4] Energy Management System, Praxis Automation Technology, The Netherlands.
- [5] Cheng Xie, Liwen Huang, Dan Jiang, *Research on quantitative risk assessment of fuel leak of LNG-fuelled ship during lock transition process*, Reliability Engineering & System Safety1 February 2022.
- [6] Fan Zhou, Yunli Fan, Bowen An *Ship emission monitoring sensor web for research and application* Ocean Engineering7 March 2022

Ngày nhận bài:	10/03/2022
Ngày nhận bản sửa:	15/03/2022
Ngày duyệt đăng:	31/03/2022