

GIÁM SÁT NĂNG LƯỢNG TIÊU THỤ CỦA MÁY NÉN KHÍ TRÊN TÀU BIỂN THEO THỜI GIAN THỰC ĐỂ TỐI ƯU HÓA HIỆU QUẢ NĂNG LƯỢNG CỦA MÁY NÉN KHÍ

MONITOR ENERGY COMSUMPTION OF MARINE AIR COMPRESSOR IN REAL TIME TO OPTIMIZE ENERGY EFFICIENCY

TRẦN HỒNG HÀ^{1*}, NGUYỄN KIM ANH²

¹Khoa Máy tàu biển, Trường Đại học Hàng hải Việt Nam

²Khoa Công nghệ Thông tin, Trường Đại học Hàng hải Việt Nam

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

Tóm tắt

Trong thời gian gần đây Tổ chức Hàng hải Quốc tế IMO đã ban hành các quy định mới về giảm phát thải khí CO₂ cũng như có các nghiên cứu và sáng kiến về vận tải biển xanh dẫn tới việc nỗ lực cải thiện hiệu suất các hệ thống năng lượng trên tàu được ưu tiên cao. Bài báo tập trung nghiên cứu việc giám sát năng lượng tiêu thụ của hệ thống máy nén khí trên tàu biển để đánh giá hiệu quả sử dụng năng lượng của máy nén khí và chuẩn đoán một số sự cố thường xảy ra đối với máy nén khí trên tàu biển. Công suất tiêu thụ của máy nén khí được đo liên tục theo thời gian thực và truyền dữ liệu về máy tính giám sát tại trung tâm bằng công nghệ IoT. Ngoài ra áp suất và nhiệt độ của khí nén cũng được giám sát. Các kết quả thu được được so sánh với các thông số khi máy nén hoạt động bình thường và cảnh báo cho người khai thác khi các thông số có biến đổi bất thường do máy nén gặp sự cố như bị rò rỉ hoặc nhiệt độ làm mát khí nén quá cao. Mô hình dự đoán dựa vào trí tuệ nhân tạo đã được sử dụng như một công cụ đánh giá để cải thiện hiệu quả sử dụng năng lượng của máy nén khí trong quá trình hoạt động.

Từ khóa: Năng lượng, máy nén khí, tàu biển.

Abstract

The IMO International Maritime Organization has recently issued new regulations on reducing CO₂ emissions as well as research and initiatives on green marine transportation leading to efforts to improve efficiency of systems. Monitor energy systems are given high priority. The article focuses on monitoring the energy consumption of air compressor systems on ships to evaluate the energy efficiency of air compressors and diagnose some common problems with air compressors on a ship. The power consumption of the air cleaner

is continuously measured in real time and transmitted data to the monitoring computer at the center using IoT technology. In addition, the pressure and temperature of the compressed air are also monitored. The results obtained are compared with the parameters when the compressor is running normally and alert the operator when the parameters have abnormal changes due to the compressor problem such as leaks or the compressed air cooling temperature is too high. The AI-based prediction model has been used as an evaluation tool to improve the energy efficiency of air compressors during operation.

Keywords: Energy, air compressor, ship.

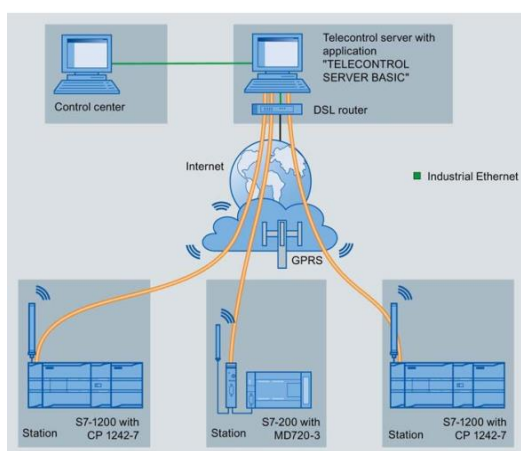
1. Mở đầu

Năm 2011, IMO đã đưa ra các biện pháp kỹ thuật và khai thác bắt buộc đối với tàu biển để nâng cao hiệu quả về năng lượng nhằm giảm lượng khí thải CO₂ từ hoạt động của tàu biển. Các biện pháp bắt buộc này (EEDI/ SEEMP) có hiệu lực từ ngày 01/01/2013 [1]. IMO cũng đã đưa ra các hướng dẫn quan trọng nhằm hỗ trợ thực hiện các biện pháp bắt buộc để tăng hiệu quả sử dụng năng lượng và giảm phát thải khí nhà kính, tạo tiền đề cho các quy định về EEDI và SEEMP được các Cơ quan quản lý và ngành công nghiệp vận tải biển thực hiện suôn sẻ. Sự tăng trưởng dự kiến của thương mại thế giới tạo ra một thách thức lớn đối với việc đáp ứng mục tiêu tương lai về lượng khí thải cần thiết để đạt được sự ổn định về nhiệt độ toàn cầu và vì vậy, IMO đã bắt đầu xem xét các biện pháp kỹ thuật và vận hành tối ưu hơn nữa để nâng cao hiệu quả năng lượng của tàu.

Nghiên cứu trong bài báo đề cập đến việc tối ưu hóa việc sử dụng năng lượng của hệ thống máy nén khí trên tàu biển. Đây là một trong những hệ thống kỹ thuật tiêu thụ năng lượng tương đối lớn trên tàu.

Hiện tại, đa số các tàu biển tại Việt Nam đều không có hệ thống giám sát năng lượng liên tục, do vậy để đánh giá được tính hiệu quả cũng như tình trạng làm việc của máy nén khí là việc khó khăn đối với người vận hành, vì thế việc nghiên cứu hệ thống đo và giám sát liên tục năng lượng tiêu thụ của máy nén khí theo thời gian thực từ đó dự báo được tình trạng làm việc của máy nén khí là việc rất cần thiết giúp cho người khai thác có thể ngăn ngừa được các hư hỏng có thể xảy ra và có các biện pháp bảo dưỡng, sửa chữa kịp thời nhằm nâng cao hiệu quả sử dụng năng lượng của máy nén.

2. Thiết kế và chế tạo hệ thống giám sát năng lượng sử dụng IoT

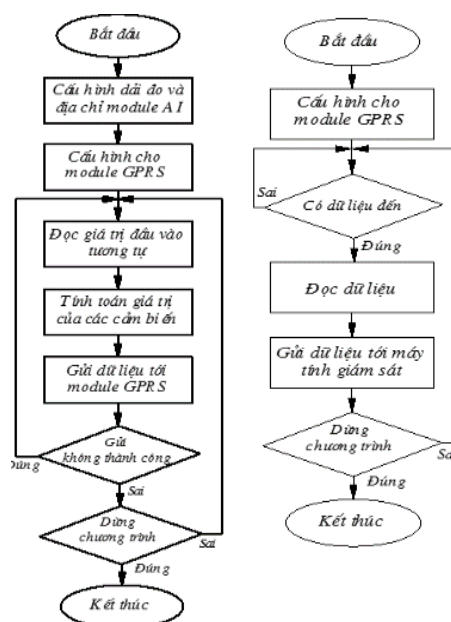


Hình 1. Sử dụng IoT để truyền dữ liệu

Hệ thống giám sát và quản lý năng lượng ứng dụng công nghệ IoT được thiết kế và chế tạo tại Trường Đại học Hàng hải Việt Nam, hệ thống bao gồm: khối đo và phát dữ liệu, khối thu và phân tích dữ liệu, phần mềm giám sát và phân tích năng lượng tiêu thụ của hệ thống khí nén ở các chế độ tải khác nhau. Trong đó, hai khối đo và phát, thu và phân tích dữ liệu sử dụng PLC S7-1200 kết hợp với GPRS (General Packet Radio Service) như Hình 1 để truyền dữ liệu qua Internet về máy chủ. Bộ dữ liệu gồm công suất tiêu thụ, áp suất và nhiệt độ khí nén được thu thập từ các hệ thống kỹ thuật sẽ được đóng gói lại dưới dạng các gói tin và được truyền đi qua mạng internet với tốc độ 144 kbps. Sơ đồ luồng dữ liệu cho bộ thu và phát dữ liệu được mô tả như Hình 2. Bộ phát dữ liệu bắt đầu bằng việc cấu hình cho mô-đun AI (Analog Input) để nhận dữ liệu từ các cảm biến. Điện áp sử dụng có dải đo 0÷10V do vậy chúng ta cần cài đặt dải đo cho mô-đun AI là 0÷10V, sử dụng 6 kênh vào AI0 đến AI5 tương ứng cho 6 kênh vào của cảm biến. Sau khi đã

cấu hình cho module AI, chương trình sẽ cần phải cấu hình cho mô-đun GPRS để kết nối vào mạng và kết nối đến trạm PLC nhận. Việc cấu hình này được thực hiện trên phần mềm TIA portal.

Sau khi đã cấu hình xong, chương trình sẽ bước vào một vòng lặp vô hạn, trong đó chương trình sẽ đọc các giá trị điện áp tại đầu vào của mô-đun AI sau đó gửi dữ liệu đến mô-đun GPRS, mô-đun GPRS sẽ thực hiện việc đóng gói dữ liệu và gửi đến trạm nhận. Nếu quá trình gửi không thành công, chương trình sẽ tiến hành gửi lại khối dữ liệu mới. Quá trình đo và thu thập, cập nhật dữ liệu sẽ được diễn ra theo chu kỳ cách mỗi 5 giây.



Hình 2. Sơ đồ luồng dữ liệu của bộ phát và thu

Bộ thu dữ liệu bắt đầu bằng việc cấu hình cho mô-đun GPRS để kết nối vào mạng và kết nối đến trạm PLC phát. Việc cấu hình này được thực hiện trên phần mềm TIA portal. Sau khi đã cấu hình xong, chương trình sẽ đợi dữ liệu được gửi đến mô-đun GPRS. Khi có dữ liệu đến, chương trình sẽ thực hiện việc giải mã gói dữ liệu và tách lấy dữ liệu từ các cảm biến đã được gửi đến. Nếu quá trình nhận thành công, chương trình sẽ tiến hành gửi dữ liệu đó tới máy tính qua cổng truyền thông PROFINET, sau đó quay về quá trình đợi gói dữ liệu mới. Nếu có lệnh dừng chương trình thì chương trình sẽ kết thúc, trong trường hợp ngược lại một vòng lặp mới lại được bắt đầu.

3. Thử nghiệm đo các thông số của máy nén khí

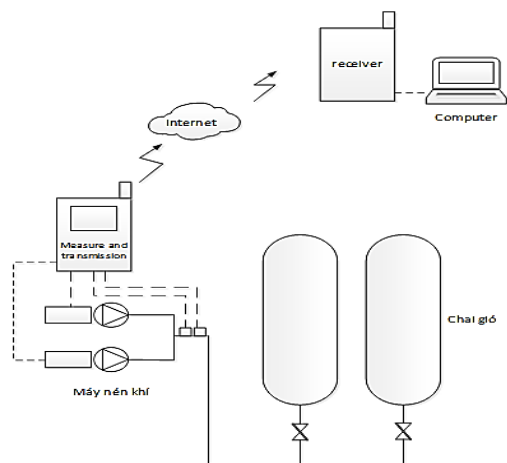
Hệ thống máy nén khí tại trung tâm nghiên cứu hệ động lực thuộc Khoa Máy tàu biển, Trường Đại học Hàng hải Việt Nam được sử dụng trong thí nghiệm để

đo các thông số làm việc của máy nén khí ở các chế độ làm việc khác nhau, bao gồm công suất tiêu thụ, áp suất và nhiệt độ của máy nén khí. Thông số kỹ thuật của máy nén khí được cho như trong Bảng 1.

Bảng 1. Các thông số của máy nén khí

Tham số	Giá trị	Đơn vị
Nhà sản xuất	Toshiba	
Công suất	11	kW
Lưu lượng	3600	m ³ /h
Vòng Quay	1450	v/ph

Hệ thống máy nén khí gồm có hai máy nén khí. Hai máy nén khí có hai chế độ điều khiển là tự động và bằng tay. Trong quá trình thí nghiệm máy nén nạp khí vào chai gió. Hệ thống truyền dữ liệu ứng dụng công nghệ IoT được sử dụng để gửi dữ liệu làm việc của máy nén khí về trung tâm giám sát theo thời gian thực như trong Hình 3.



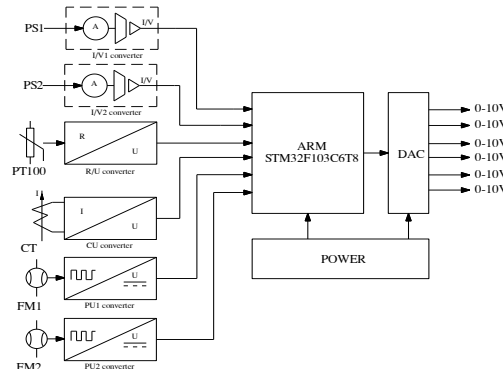
Hình 3. Sơ đồ đo các thông số làm việc của máy nén khí

Máy nén khí được đo ở ba chế độ: 1. Làm việc bình thường; 2. Bị rò rỉ khí nén; 3. Nhiệt độ nước làm mát khí nén tăng cao. Khi làm việc ở các chế độ, máy nén khí đều nén khí nén trong chai gió từ 0 bar đến 15 bar. Số lần đo được thực hiện 5 lần ở mỗi chế độ làm việc của máy nén.

Hệ thống đo và giám sát bao gồm các sensor đo dòng, áp suất và nhiệt độ của khí nén, hệ thống biến đổi tín hiệu đo (Hình 4), bộ xử lý tín hiệu và gửi đến PLC sau đó qua GPRS để đóng gói tín hiệu. Dữ liệu được truyền qua internet và gửi tới bộ nhận tại trung tâm giám sát. Trong Hình 5 là mô-đun gồm có các cảm biến đo lường các thông số làm việc của máy nén khí và chuyển tín hiệu đo thành tín hiệu áp. Các thành phần chính của mô-đun bao gồm:



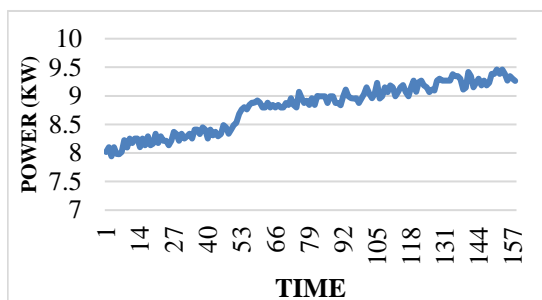
Hình 4. Hệ thống giám sát máy nén khí trong phòng thí nghiệm của trung tâm nghiên cứu hệ động lực



Hình 5. Sơ đồ cấu tạo hệ thống đo và chuyển đổi tín hiệu

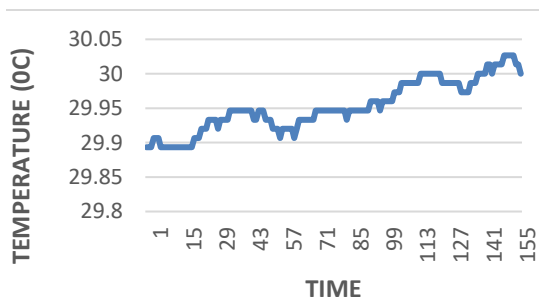
- PS1 (Pressure sensor): Cảm biến áp suất khí nén, đầu ra 4-20mA.
- PS2 (Pressure sensor): Cảm biến áp suất khí nén, đầu ra 4-20mA.
- PT100: Cảm in đo nhiệt độ khí nén.
- CT (Current transformer): Biến dòng, phục vụ đo công suất nhóm thiết bị tiêu thụ năng lượng điện.
- FM1, FM2: (Fuel metter) cảm biến đo lượng nhiên liệu tiêu thụ, đầu ra cảm biến là số tần số.
- I/V (Converter): Mạch chuyển đổi dòng thành áp phục vụ đo lường.
- R/U: Mạch chuyển đổi giá trị điện trở của cảm biến nhiệt PT100 thành điện áp.
- CU: Mạch chuyển đổi giá trị dòng điện từ biến dòng thành điện áp một chiều để phục vụ thuật toán đo dòng.
- PU1, PU2: Bộ biến đổi đầu ra xung của cảm biến lưu lượng thành điện áp.
- ARM STM32F103C8T6: Bộ vi điều khiển xử lý trung tâm của module vào ra.
- DAC (Digital Analog Converter): Bộ biến đổi thành tương tự 0-10V đưa tới PLC (Programable Logic Controller) thu.

Trong Hình 6, công suất của máy nén khí được tính toán và hiển thị trên màn hình giám sát theo thời gian thực. Thông số được đo là cường độ dòng điện của nguồn cấp cho máy nén khí. Cảm biến đo dòng AC 100A/100mA DLXQ20 được sử dụng để đo dòng điện của máy nén khí.



Hình 6. Công suất tiêu thụ của máy nén khí theo thời gian thực

Ngoài công suất, thông số áp suất và nhiệt độ của khí nén cũng được đo và giám sát ở các chế độ làm việc của máy nén khí. Hình 7 là màn hình giám sát nhiệt độ tiêu thụ của máy nén khí theo thời gian thực. Các cảm biến đo nhiệt độ theo nguyên lý điện trở PT100 và đo áp suất được sử dụng để đo nhiệt độ và áp suất khí nén ở đường ống đẩy của máy nén khí.



Hình 7. Nhiệt độ khí nén theo thời gian thực

4. Huấn luyện mạng ANN và kết quả dự báo

4.1. Thu thập và xử lý số liệu thực nghiệm

Máy nén khí được chạy ở ba chế độ: chạy bình thường, chế độ có độ rò khí nhỏ lưu lượng nạp còn 3400m³/h, chế độ có độ rò khí lớn lưu lượng nạp còn 2800m³/h. Các thông số đầu vào là công suất tiêu thụ của động cơ, áp suất khí nén và nhiệt độ khí nén. Thông số đầu ra là trạng thái làm việc của máy nén khí: bình thường, rò khí nhỏ, rò khí lớn và thiếu nước làm mát. Sau khi thu thập dữ liệu sẽ được chia thành hai bộ dữ liệu:

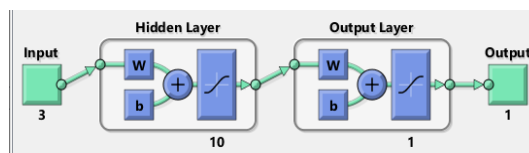
Bộ dữ liệu thứ nhất gồm có 200 số liệu đầu vào

được nạp vào công cụ ANN của Matlab để huấn luyện mạng. Phần mềm lại chia số dữ liệu này thành ba nhóm: nhóm 1 dùng để luyện mạng có số dữ liệu chiếm 70% tương ứng với 187 dữ liệu, các dữ liệu này được sử dụng liên tục trong quá trình học và chỉnh sửa sai số của mạng. Nhóm 2 chiếm 15% dữ liệu tương ứng với 40 dữ liệu để kiểm tra xem có bị quá khớp hay không. Nhóm 3 chiếm 15% dữ liệu tương ứng 40 dữ liệu để kiểm tra lại mạng trước và sau khi huấn luyện mạng.

Bộ dữ liệu thứ hai gồm có 40 dữ liệu được dùng để kiểm tra độ tin cậy của mạng sau khi được huấn luyện và dự báo các trạng thái của máy nén khí ở các chế độ làm việc khác nhau.

4.2. Xây dựng mạng trí tuệ nhân tạo

Mạng trí tuệ nhân tạo được xây dựng để dự báo tình trạng của máy nén khí, vì vậy lớp đầu vào là các số liệu về thông số làm việc của máy nén khí sau khi thực nghiệm thu thập được. Khi xây dựng mạng nhóm nghiên cứu chọn mạng trí tuệ nhân tạo gồm hai lớp ẩn, mỗi lớp ẩn có 10 nơ-ron, thông số đầu vào gồm ba thông số (công suất, áp suất và nhiệt độ khí nén), thông số đầu ra gồm một thông số (trạng thái của máy nén khí).



Hình 8. Mô hình mạng trí tuệ nhân tạo

4.3. Huấn luyện mạng trí tuệ nhân tạo

Mạng được huấn luyện lặp đi lặp lại cho đến khi kết quả và sai số đạt được theo yêu cầu. Quá trình này chính là quá trình điều chỉnh các trọng số liên kết giữa các nơ-ron thông qua các thuật toán được cài đặt sẵn trong Matlab. Mạng được kiểm tra bằng sai số toàn phương trung bình và hệ số tương quan R. Sai số toàn phương được tính theo công thức sau [2]:

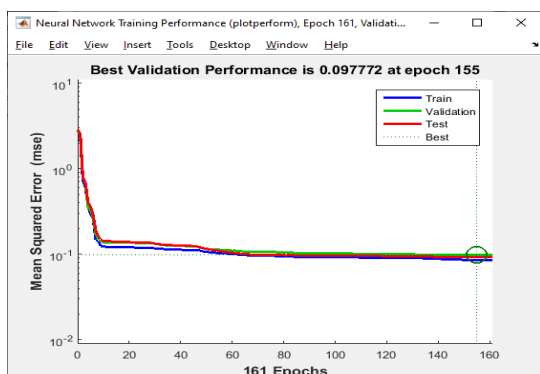
$$MSE = \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - y_i^*)^2}{n} \quad (1)$$

Trong đó: y_i : Giá trị dự báo;

y_i^* : Giá trị thực;

n : số lượng dữ liệu.

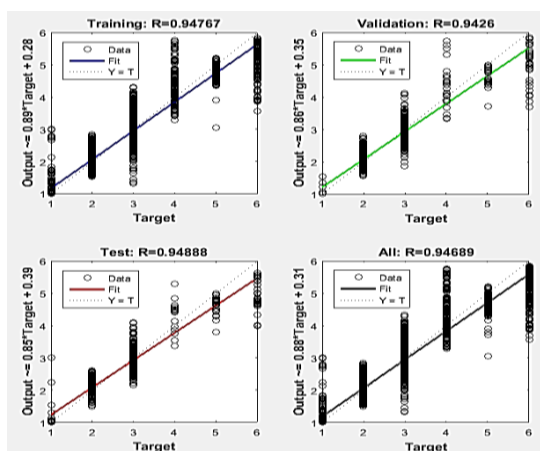
Mạng sau khi huấn luyện được xác thực và kiểm tra chéo để đánh giá về hiệu suất của mạng. Hình 9 cho thấy hiệu suất tốt nhất của quá trình luyện mạng đạt 0,097772 tại vòng lặp 155.



Hình 9. Đồ thị sai số toàn phương MSE

4.4. Sử dụng mạng trí tuệ nhân tạo để dự báo

Sau khi huấn luyện, mạng trí tuệ nhân tạo được dùng để dự báo trạng thái làm việc của máy nén khí. Bộ dữ liệu thứ hai được sử dụng để kiểm tra hiệu quả dự báo của mạng cho thấy sai số $MSE = 147,76.10^{-7}$ và hệ số hồi quy $R = 0,946$. Điều đó cho thấy mạng trí tuệ nhân tạo có khả năng dự báo chính xác tình trạng làm việc của máy nén khí khi có đủ các thông số đầu vào gồm công suất tiêu thụ, áp suất và nhiệt độ khí nén.



Hình 10. Kết quả dự báo của mạng

5. Kết luận

Kết quả nghiên cứu hệ thống giám sát hoạt động của máy nén khí theo thời gian thực cho thấy:

Việc ứng dụng công nghệ IoT để giám sát năng lượng tiêu thụ, áp suất, nhiệt độ của hệ thống máy nén khí theo thời gian thực (cách 5s một) cho phép người khai thác tàu có thể theo dõi trạng thái của máy nén khí từ đó lập kế hoạch bảo dưỡng, sửa chữa và cải thiện hiệu suất bền vững của hệ thống, giúp giảm tiêu thụ điện năng, tiết kiệm chi phí năng lượng.

Mạng trí tuệ nhân tạo có thể được sử dụng để dự báo trạng thái của máy nén khí dựa vào các thông số đầu vào được giám sát liên tục theo thời gian thực. Kết quả dự báo của mạng có độ chính xác cao giúp người khai thác biết được tình trạng làm việc của máy nén khí và có biện pháp bảo dưỡng hoặc ngăn ngừa sự cố một cách kịp thời trong quá trình khai thác.

Lời cảm ơn

Nghiên cứu này được tài trợ bởi Trường Đại học Hàng hải Việt Nam trong đề tài mã số **DT20-21.18**.

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.

Ngày nhận bài:	15/3/2021
Ngày nhận bản sửa:	26/3/2021
Ngày duyệt đăng:	29/3/2021