

NGHIÊN CỨU THIẾT KẾ HỆ THỐNG ĐO VÀ GIÁM SÁT RUNG ĐỘNG CỦA ĐỘNG CƠ LAI BƠM ĐỂ DỰ BÁO CÁC HƯ HỎNG

RESEARCH, DESIGN VIBRATION MEASUREMENT AND SUPERVISION SYSTEM OF PUMP MOTOR TO PREDICT THE TROUBLESHOOTING OCCURRED

TRẦN HỒNG HÀ*, ĐỖ THỊ HIỀN

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

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

Tóm tắt

Các loại bơm được sử dụng trong các hệ thống quan trọng trong công nghiệp. Sự làm việc ổn định của các loại bơm ảnh hưởng đến mức độ an toàn và hiệu quả hoạt động của tàu. Hiện tượng rung động của bơm và động cơ lai bơm trong quá trình làm việc là không thể tránh khỏi do truyền từ vỏ tàu và hệ thống đường ống rung động quá mức cho phép có thể do các nguyên nhân khác làm hư hỏng bơm trong thời gian ngắn. Bài báo tập trung nghiên cứu một mô hình đo rung của bơm. Rung động của bơm sẽ được thu thập qua cảm biến khi bơm làm việc ở các chế độ khác nhau như ốc chân bệ bị lỏng, xâm thực, khớp nối bị lệch. Qua phân tích kết quả số liệu cho thấy biên độ rung của bơm ở các trường hợp làm việc do lỏng bệ, xâm thực hay lệch khớp nối bị ảnh hưởng rõ rệt. Từ đó đưa ra cảnh báo hoặc dự báo bảo trì để có giải pháp sửa chữa kịp thời tránh hư hỏng nặng cho bơm.

Từ khóa: Bơm, tàu biển, rung động.

Abstract

Pumps are used in critical systems on ships. The stable operation of pumps affects the safety and efficiency of the industry system's operation. The phenomenon of vibration of pump and pump motor during working process is inevitable due to excessive vibration from the hull and pipeline system, which can be caused by other causes to damage the pump during operation. short time. The article focuses on studying a pump vibration measurement model, Pump vibration will be collected through the sensor when the pump works in different modes such as loose foot screws, cavitation, and misaligned couplings. The analysis of the results shows that the vibration amplitude of the pump in the case of working due to lose platform, cavitation or coupling deviation is significantly affected. From there, give warnings or forecast maintenance to have timely repair solutions to avoid severe damage to the pump.

Keywords: Pump, vibration, industry.

1. Mở đầu

Các loại bơm được sử dụng trong các hệ thống trong công nghiệp là các thiết bị rất quan trọng, các bơm này vận chuyển chất lỏng cung cấp cho máy chính, máy đèn và nồi hơi,... ngoài ra nó cung cấp nước phục vụ các hệ thống khác trong công nghiệp. Tuy nhiên, trong quá trình làm việc hoặc sau khi bảo dưỡng và lắp ráp bơm không đúng tiêu chuẩn có thể xảy ra sai hỏng. Điều này dẫn tới hiện tượng rung động trên bơm nếu rung động quá lớn sẽ gây ra hư hỏng nặng cho bơm. Do vậy việc giám sát và dự báo các lỗi khi chế tạo lắp ráp và các hư hỏng có thể xảy ra khi bơm đang làm việc là hết sức cần thiết.

Có nhiều nhà nghiên cứu đã ứng dụng phương pháp mô phỏng cũng như thực nghiệm để nghiên cứu về rung động trên các thiết bị khác nhau. Yunsong Li và các cộng sự [1] đã mô hình hóa trực chính sử dụng phương pháp phân tử hữu hạn. Các kết quả phân tích rung động dựa trên mô hình và thực nghiệm đã được thực hiện trên một trục chính tích hợp động cơ. Trong nghiên cứu [2], nhóm tác giả dùng phần mềm mô phỏng số để tìm ra tần số tự nhiên của trục chính. Phương pháp mô phỏng số cũng được ứng dụng trong nghiên cứu [3] để tìm ra tần số rung động trên trục máy mài. Kết quả sau đó được kiểm chứng thông qua kết quả đo. Trong bài báo này, nhóm nghiên cứu xét các nguyên nhân gây ra độ rung cho bơm như lỏng ốc chân bơm hay bơm bị xâm thực,... Các trường hợp này đều được đo độ rung ở các vị trí khác nhau của bơm và được phân tích và đánh giá so với độ rung khi bơm làm việc ở chế độ bình thường.

2. Hệ thống đo và giám sát độ rung

2.1. Cơ sở lý thuyết đo rung

Trên tàu biển có các thiết bị như động cơ điện lai bơm, quạt gió, máy nén khí đều có dạng chuyển động quay. Khi làm việc các thiết bị này sẽ tạo ra rung động với các tần số và cường độ nhất định tùy theo tình trạng làm việc và điều kiện tải khác nhau của thiết bị. Độ rung động này sẽ truyền qua trục, tới vỏ thiết bị.

Thông số chính ảnh hưởng đến độ rung động đó là vòng quay của các thiết bị do vậy độ rung động có tỷ lệ với vòng quay của các thiết bị có chuyển động quay. Các đặc tính của các thông số như biên độ, tần số hay hình dáng của biểu đồ rung, các thông số này đều là hàm các thông số vật lý của hệ thống. Khi thay đổi các tính chất vật lý sẽ thay đổi sẽ làm đặc tính của đồ thị đo rung sẽ thay đổi theo và mang tính chất đặc trưng cụ thể cho từng trường hợp. Biên độ rung trong quá trình hoạt động của thiết bị sẽ tăng lên do hư hỏng một số chi tiết truyền động như trục, ổ đỡ hoặc rotor mất cân bằng. Từng trường hợp hư hỏng cụ thể sẽ làm xuất hiện các tần số lạ so với tần số khi thiết bị hoạt động bình thường và được hiển thị trên màn hình giám sát, do đó kết quả cho thấy có sự bất thường trong thiết bị. Dựa vào thông số thu được với từng trường hợp sự cố cụ thể hệ thống đo rung thông minh sẽ phân tích và dự báo được tình trạng của thiết bị.

Đối với các dạng sóng khác nhau tổ hợp từ một số sóng hài rời rạc thành phần có độ lớn và pha, và không chứa các thành phần rung động hoặc sóc ngẫu nhiên đáng kể, khi đó có thể sử dụng phân tích Fourier để liên kết các đại lượng cơ bản khác nhau (ví dụ như độ dịch chuyển, vận tốc, gia tốc, đỉnh, trị hiệu dụng, giá trị trung bình,...) bằng các biểu thức toán học chính xác xác định.

Từ vận tốc rung đo được theo thời gian ghi được, trị hiệu dụng của vận tốc có thể tính được như sau [4]:

$$v_r = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T v^2(t) dt} \quad (1)$$

trong đó:

v(t) là vận tốc rung phụ thuộc thời gian, m/s;

v_r là vận tốc hiệu dụng, m/s;

T là thời gian lấy mẫu (đo) dài hơn thời gian chu kỳ của mỗi tần số thành phần chính tạo nên v(t).

Gia tốc, vận tốc và/hoặc độ lớn chuyển dịch (a_j, v_j, s_j; j = 1, 2, ..., n) có thể xác định được cho các tần số khác nhau (f₁, f₂, ..., f_n) từ phân tích phổ ghi nhận được. Nếu các giá trị độ dịch chuyển rung động đỉnh s₁, s₂, ..., s_n tính bằng mm hay giá trị vận tốc rung v₁, v₂, ..., v_n tính bằng mm/s, hoặc a₁, a₂, ..., a_n tính bằng m/s² và các tần số f₁, f₂, ..., f_n tính bằng Hz biết trước, vận tốc hiệu dụng liên quan được mô tả bằng chuyển động biểu thị bằng [4]:

$$v_r = x \cdot 10^{-3} \sqrt{\frac{1}{2} [(s_1 \cdot f_1)^2 + (s_2 \cdot f_2)^2 + \dots + (s_n \cdot f_n)^2]} = \sqrt{v_1^2 + v_2^2 + \dots + v_n^2} =$$

$$\frac{10^3}{2x} \sqrt{\left(\frac{a_1}{f_1}\right)^2 + \left(\frac{a_2}{f_2}\right)^2 + \dots + \left(\frac{a_n}{f_n}\right)^2} \quad (2)$$

Trong hệ thống giám sát độ rung động, biên độ và tần số rung là hai thông số quan trọng được sử dụng để phân tích rung động của thiết bị, hai thông số này cung cấp thông tin chính xác về nguyên nhân gây ra rung động. Để phân tích được chính xác được nguyên nhân gây rung cần đo và hiển thị được tần số rung trên miền tần số theo thời gian với các biên độ khác nhau. Đồ thị phải có độ phân giải cao để có thể phát hiện được các tần số với biên độ bất thường. Lượng mẫu đối với mỗi trường hợp phải lấy nhiều để đưa vào hệ thống huấn luyện và được phân tích và chẩn đoán chính xác.

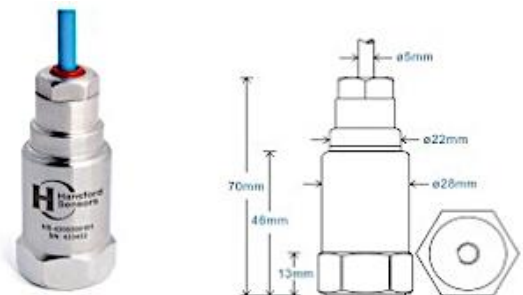
2.2. Cảm biến đo rung

Bảng 1. Các thông số cảm biến đo rung

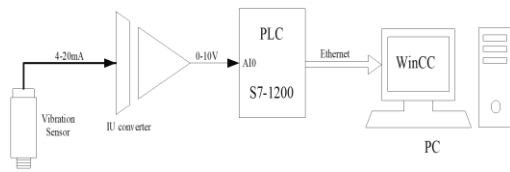
Tham số	Giá trị	Đơn vị
Nhà sản xuất	Hansford	
Công suất	11	kW
Tín hiệu ra	4-20	mA
Dải đo rung	0-50	mm/s

Hệ thống đo rung của thiết bị có thể sử dụng các loại cảm biến để đo rung khác nhau như đo bằng gia tốc, đo độ dịch chuyển và đo vận tốc. Cảm biến đo rung trong công nghiệp hiện nay thường được sử dụng nhiều là cảm biến đo gia tốc, cảm biến này có độ nhạy cao và cho kết quả chính xác. Cảm biến được gắn vào vỏ máy ở các vị trí khác nhau qua nam châm để cố định cảm biến. Cảm biến đo rung động từ vỏ máy và đưa tín hiệu ra là dòng điện từ 4-20 (mA) như trong Hình 1.

Cảm biến HS-4200500108 của hãng Hansford có dải đo 0-50 (mm/s), đầu ra 4-20 (mA) có đặc tính như trong Bảng 1 được kết hợp với bộ điều khiển PLC để giám sát độ rung của động cơ.

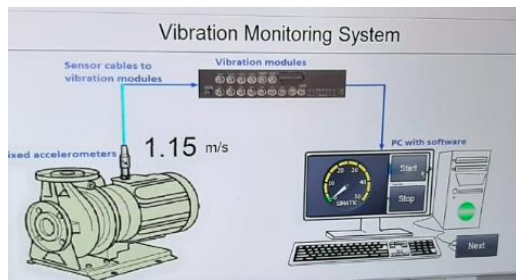


Hình 1. Cảm biến đo rung HS-4200500108

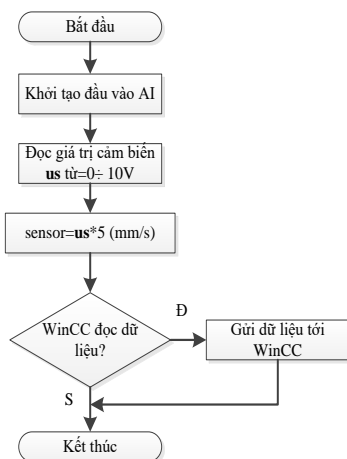


Hình 2. Hệ thống giám sát máy nén khí trong phòng thí nghiệm của trung tâm nghiên cứu hệ động lực

- Các thành phần trong hệ thống như trong Hình 2:
- Vibration Sensor: Cảm biến đo rung động;
 - IU converter: Bộ biến đổi dòng điện 4÷20mA sang 0÷10V;
 - PLC (Programmable Logic Controller): Thiết bị logic lập trình xử lý tín hiệu đo và truyền thông giám sát;
 - PC: Máy tính cá nhân;
 - WinCC: Phần mềm giám sát giá trị độ rung trên máy tính.



Hình 3. Phần mềm hệ thống đo và giám sát độ rung



Hình 4. Sơ đồ thuật toán của hệ thống đo rung

Bảng 2. Thông số của động cơ điện

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

Mạch cảm biến rung sử dụng loại HS-4200500108 Hansford có dải đo 0÷50mm/s, trục M8, cấp PUR dài 2m tiêu chuẩn, tần số đáp ứng của cảm biến 0,1÷1kHz. Cảm biến với đầu ra 4÷20mA được đưa tới bộ biến đổi sang điện áp 0÷10V để tương thích với đầu vào của PLC. Tín hiệu điện áp từ bộ biến đổi sau đó đưa tới đầu vào tương tự AI0 của PLC S7-1200. Bộ PLC thực hiện đọc tín hiệu điện áp từ cảm biến rung sau đó chuyển đổi thành giá trị tương ứng với giá trị vật lý đo được. Sau khi đã tính được độ rung, giá trị được gửi tới máy tính (PC) qua kết nối ethernet như sơ đồ thuật toán trong Hình 4. Phần mềm WinCC trên máy tính sẽ liên tục đọc giá trị từ PLC và hiển thị lên giao diện giám sát như trong Hình 3.

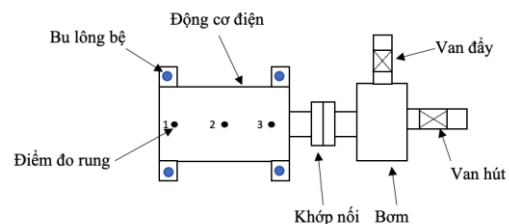
3. Thục nghiệm đo và giám sát rung



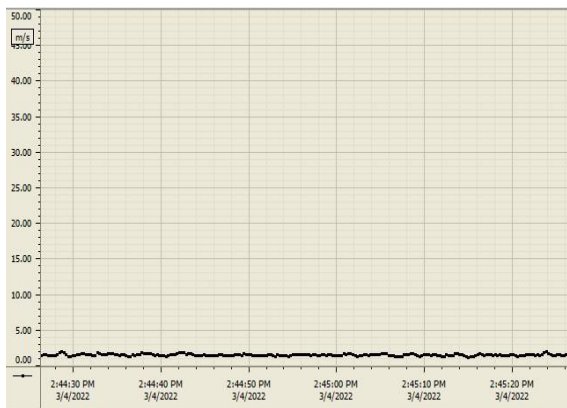
Hình 5. Thí nghiệm đo rung tại phòng thí nghiệm

Bảng 3. Các chế độ thí nghiệm

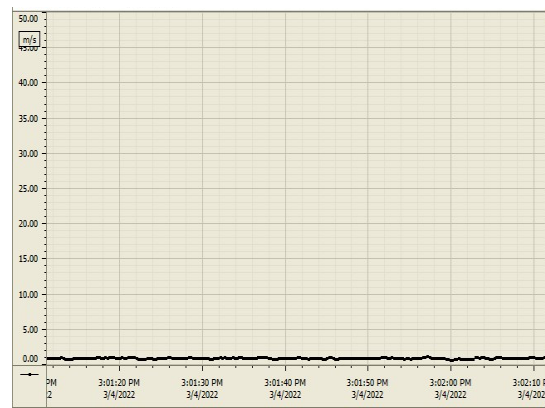
Chế độ	Lưu lượng	Áp suất
Hoạt động bình thường	15m ³ /h	2,5at
Hoạt động sự cố với bu lông bị nới lỏng	15m ³ /h	2,5at



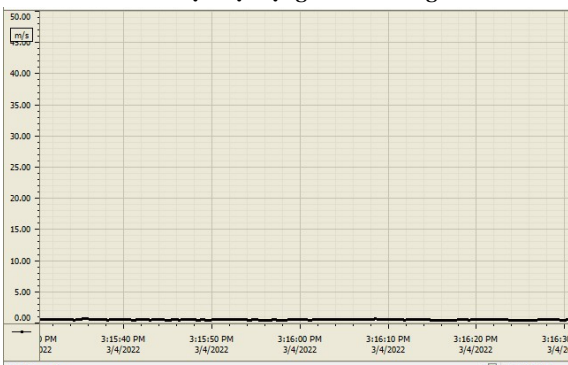
Hình 6. Sơ đồ điểm đo trên động cơ



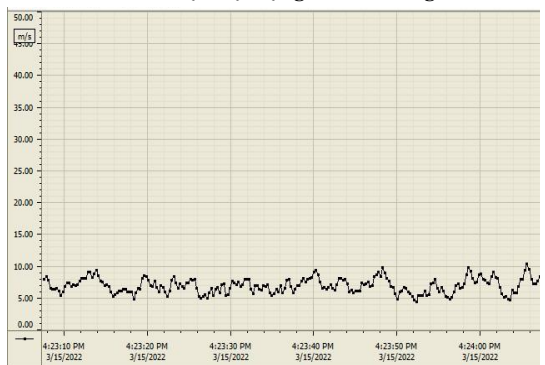
Hình 7. Độ rung được đo ở vị trí 1, chế độ hoạt động bình thường



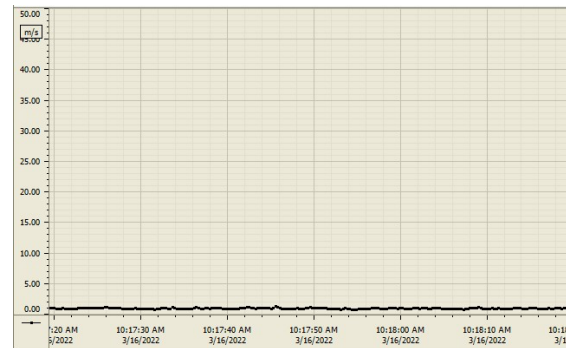
Hình 8. Độ rung được đo ở vị trí 2, chế độ hoạt động bình thường



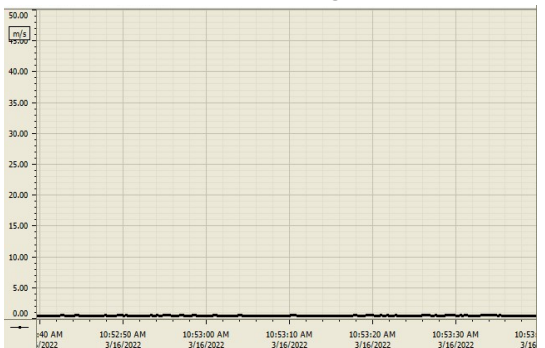
Hình 9. Độ rung được đo ở vị trí 3, chế độ hoạt động bình thường



Hình 10. Độ rung được đo ở vị trí 1, chế độ hoạt động sự cố



Hình 11. Độ rung được đo ở vị trí 2, chế độ hoạt động sự cố



Hình 12. Độ rung được đo ở vị trí 3, chế độ hoạt động sự cố

Hệ thống đo và giám sát rung được sử dụng trong thí nghiệm để đo độ rung của động cơ điện lái bơm nước lắp trong hệ thống nước làm mát của trung tâm nghiên cứu hệ động lực tại Khoa Máy tàu biển. Bơm có các thông số kỹ thuật như trong Bảng 2.

Động cơ điện của bơm được đo rung ở ba phần trên thân động cơ: Phần đầu, phần giữa và cuối như trong Hình 6. Tại mỗi phần được đo tại ba điểm phía trên và hai bên của động cơ. Tại các điểm đo, cảm biến được gắn chặt trên thân của động cơ điện bằng nam châm. Các chế độ đo như sau: Động cơ làm việc bình thường với các sản lượng 15m³/h với áp suất là 2,5at.

Bơm được sử dụng để bơm nước tuần hoàn cho máy chính của động cơ diesel.

Một số sự cố được tạo ra khi bơm đang làm việc. Các bu lông bệ của bơm lần lượt được nói lỏng ở phía sau và phía trước động cơ. Ngoài ra nhóm nghiên cứu còn tạo ra xâm thực bằng cách đóng gần hết van hút của bơm làm tăng sức cản đường ống hút và tạo ra hiện tượng xâm thực xảy ra trong bơm khi bơm đang làm việc. Hiện tượng này thường xảy ra khi bơm làm việc có đường ống hút dài hoặc tắc bần trong quá trình làm việc làm bơm bị rung khi xâm thực xảy ra.

4. Kết quả thí nghiệm và đánh giá

Kết quả thí nghiệm cho thấy khi hoạt động ở chế độ bình thường với lưu lượng lớn nhất của bơm 15 m³/h. Động cơ của bơm được đo rung tại 3 điểm trên thân động cơ. Trong Hình 7 cho thấy kết quả đo rung ở vị trí 1 biên độ rung trung bình là 1,52mm/s. Độ rung thấp nhất là 1,29mm/s. Độ rung cao nhất là 1,97mm/s theo thời gian. Mỗi lần đo được thực hiện trong khoảng thời gian là 10 phút sau khi bơm đã hoạt động ổn định.

Trong Hình 8 cho thấy kết quả đo rung ở vị trí 2 biên độ rung trung bình là 0,86mm/s. Độ rung thấp nhất là 0,58mm/s. Độ rung cao nhất là 1,07mm/s theo thời gian.

Tại vị trí 3 độ rung trung bình 0,53mm/s. Độ rung cực đại là 0,68mm/s và độ rung cực tiểu là 0,36mm/s như trong Hình 8.

So sánh ba điểm đo rung tại 3 vị trí 1, 2, 3 khi bơm làm việc ở chế độ bình thường cho thấy tại vị trí 1 động cơ có độ rung lớn nhất do phía sau bộ tương đối yếu. Độ rung lớn nhất phía sau động cơ là 1,29mm/s. Phía đầu động cơ có độ rung nhỏ do liên kết chắc chắn với bơm và hệ thống đường ống qua khớp nối và các bích nối nên độ rung lớn nhất chỉ có 0,68mm/s.

Khi nối lỏng bu lông bên phải, ở phía sau động cơ điện và vẫn cho bơm hoạt động ở lưu lượng 15m³/h. Đo rung tại ba điểm 1, 2, 3 trên cho thấy độ dao rung của động cơ tăng lên mạnh ở cả ba điểm đo.

Trong Hình 10 cho thấy kết quả đo rung ở vị trí 1 khi nối lỏng bu lông bên. Độ rung trung bình là 7,3mm/s. Độ rung thấp nhất là 4,5mm/s. Độ rung cao nhất là 11,27mm/s. Tại điểm 1, độ rung trung bình tăng lên so với bình thường là 5,8mm/s. Độ rung cực đại lớn hơn 9,3 mm/s.

Trong Hình 11 cho thấy kết quả đo rung ở vị trí 2 biên độ rung trung bình là 1,2mm/s. Độ rung thấp nhất là 0,7mm/s. Độ rung cao nhất là 1,28mm/s theo thời gian. Tại điểm 2, độ rung trung bình tăng lên so với bình thường là 0,34mm/s. Độ rung cực đại lớn hơn 0,21mm/s.

Tại vị trí 3 như trong Hình 12 cho thấy độ rung trung bình 0,54mm/s. Độ rung cực đại là 0,78mm/s và độ rung cực tiểu là 0,34mm/s. Tại điểm 3, độ rung trung bình tăng lên so với bình thường là 0,01mm/s. Độ rung cực đại lớn hơn 0,1mm/s.

So sánh ba điểm đo rung tại 3 vị trí 1,2, 3 khi bơm làm việc ở chế độ sự cố cho thấy tại vị trí 1 động cơ có độ rung lớn nhất do bu lông bên bị lỏng làm động cơ bị rung mạnh. Độ rung lớn nhất phía sau động cơ là 11,27mm/s. còn phía trước động cơ độ rung bị ảnh

hưởng ít hơn chỉ thay đổi 0,1mm/s. Do đó nếu động cơ làm việc với thời gian dài thì ổ đỡ phía sau của động cơ sẽ bị hư hỏng và dẫn tới hỏng các chi tiết truyền động khác của động cơ như roto, trục động cơ.

5. Kết luận

Kết quả nghiên cứu hệ thống đo và giám sát rung của động cơ điện lai bơm trong phòng thí nghiệm cho thấy:

Độ rung của động cơ được giám sát liên tục tại ba điểm trên thân của động cơ. Khi có sự cố bất thường xảy ra như nối lỏng bu lông bên phía sau. Giá trị đo độ rung tăng lên nhanh tại điểm gần vùng có bu lông bị nối lỏng tới 11,27mm/s. còn các điểm khác cũng bị ảnh hưởng nhưng giá trị độ rung thay đổi nhỏ hơn từ 0,1mm/s đến 0,21mm/s. Nếu hoạt động lâu dài ở chế độ rung này các thiết bị truyền động của động cơ sẽ bị hư hỏng. Kết quả đo có độ chính xác cao giúp người khai thác biết được tình trạng làm việc của bơm 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: **DT21-22.18**.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] ISong, Yong Sheng, and You Liang Ding (2013). *Fatigue monitoring and analysis of orthotropic steel deck considering traffic volume and ambient temperature*. Science China Technological Sciences Vol.56 (7), pp.1758-1766.
- [2] Benjamin, Jack R., and C. Allin Cornell (2014), *Probability, statistics, and decision for civil engineers*, Courier Corporation.
- [3] Ko, Hyoungho (2012), *Highly configurable capacitive interface circuit for tri-axial MEMS micro-accelerometer*, International Journal of Electronics Vol.99 (7), pp.945-955.
- [4] Tiêu chuẩn quốc gia TCVN 9229-1:2012.

Ngày nhận bài:	03/3/2022
Ngày nhận bản sửa lần 01:	07/4/2022
Ngày nhận bản sửa lần 02:	19/4/2022
Ngày duyệt đăng:	25/4/2022