

# Kiểm tra thiết bị đo và giám sát rung động đa kênh tại Phòng Thí nghiệm Viện Nghiên cứu khoa học và Công nghệ Hàng hải - Trường Đại học Hàng hải Việt Nam

■ **ThS. NCS. LẠI HUY THIÊN; PGS. TSKH. ĐỖ ĐỨC LƯU** - Trường Đại học Hàng hải Việt Nam

**TÓM TẮT:** Thiết bị đo, giám sát rung động đa kênh (MMMVS, Multi-channel Measurement and Monitoring Vibration System) được chế tạo tại Trường Đại học Hàng hải Việt Nam dùng để đo, xử lý đồng thời các tín hiệu dao động xoắn, dao động dọc trên trục truyền bằng phương pháp tem dán biến dạng và các kênh đo dao động gia tốc trên bề mặt động cơ diesel tàu thủy. Ví đặc thù của thử nghiệm đường dài tàu thủy, yêu cầu kiểm tra MMMVS tại phòng thí nghiệm (PTN) trước khi chuyển xuống tàu sử dụng

Bài báo trình bày các mô hình vật lý (MHVL) được nhóm tác giả xây dựng tại PTN của Viện Nghiên cứu Khoa học và Công nghệ Hàng hải (Viện NCKH&CNHH) thuộc Trường Đại học Hàng hải Việt Nam và thủ tục kiểm tra hoạt động chức năng của MMMVS. Thiết bị được kiểm tra nhận dạng thiết bị ngoại vi, đồng bộ hóa các tín hiệu đo dao động, tần số và số lượng mẫu trích đo tương ứng với chu kỳ công tác của động cơ diesel, lưu trữ dữ liệu đo. Kết quả thu được đảm bảo cho sự hoạt động sẵn sàng của MMMVS cho thử nghiệm đường dài tàu biển theo các yêu cầu của cơ quan đăng kiểm hàng hải

**TỪ KHÓA:** Kiểm tra thiết bị đo rung động, đo, giám sát rung động tàu biển

**ABSTRACT:** Multi-channel Measurement and Monitoring Vibration System (MMMVS) is made in Vietnam Maritime University, using to measure and process the received vibrations with different physical types together, such as torsional, axial ones on the shaft-line by strain gauges and accelerations on no-moving parts of the marine diesel. According to the sea trial particulars, the functional features of the MMMVS have to test well before this system is used in the sea-trail experiments

This article demonstrates the physical models made by authors in the Lab of Maritime Research Institute of Vietnam Maritime University and procedure for functional testing the MMMVS: interface device identification; vibration signals synchronization; frequency and sample tracking relatively the diesel working cycle and the measured data saving. The received results in the paper prove the readiness of the MMMVS to use for the sea trial experiments according to requirements of the maritime shipping registers

**KEYWORDS:** Testing Vibration Measurement System, Measurement and Monitoring Vibration System.

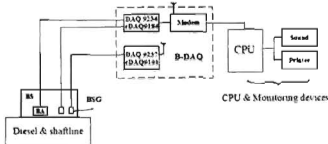
## 1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Trong thử nghiệm đường dài tàu biển có sự tham gia của các tổ chức đăng kiểm, chủ tàu, nhà máy đóng tàu và các tổ chức chuyên môn được mời đo, giám sát các tín hiệu quan trọng như dao động xoắn, dao động dọc, dao động thẳng (gia tốc) cũng như đo tiếng ồn trên tàu. Trước đây, thông thường chỉ tiến hành đo dao động xoắn trên trục trung gian của hệ trục chính diesel tàu biển lai chân vịt, còn các dạng dao động khác và tiếng ồn ít được quan tâm. Trong một vài năm gần đây, trên thế giới cũng như ở Việt Nam đã đặt ra đo, giám sát tiếng ồn và dao động của tàu (thân tàu), còn đối với máy tàu lại chưa đặt ra, mặc dù trong Quy phạm Hàng hải một số nước có yêu cầu (DNV (2011) [4]; RMR(2015) [4]).

Để triển khai nghiên cứu phát triển thiết bị đo rung động hiện đại tại Trường Đại học Hàng hải Việt Nam, nhóm nghiên cứu đã xây dựng thành công hệ thống đo và giám sát rung động đa kênh trên cơ sở nền tảng công nghệ NI (National Instruments, Hoa Kỳ) và đã triển khai đo, hiệu chỉnh tại PTN và đo trên tàu thực. Một số kết quả

đã được trình bày tại Hội nghị Các trường Đại học Hàng hải quốc tế năm 2017, tổ chức tại Vacna (Bulgari) [3].

Về nguyên lý cấu tạo, thiết bị đo và giám sát rung động đa kênh trên (MMMVS) gồm các kênh đo dao động trên trục quay (thường là trục trung gian): Dao động xoắn hoặc dao động dọc bằng tem biến dạng, dẫn trên bề mặt trục và các dao động thẳng (thường là dao động gia tốc) của các điểm đo trên bề mặt động cơ tại các vị trí không chuyển động. Truyền tín hiệu do từ thiết bị cảm biến đặt trên trục quay (SG, tem biến dạng) tới CPU thực hiện bằng wifi, còn các tín hiệu đo dao động trên bề mặt (không chuyển động) của động cơ truyền tới CPU có thể thực hiện bằng dây dẫn, cũng có thể bằng wifi. Tuy nhiên, MMMVS được chia thành hai hệ thống con thực hiện chức năng đo (Sensors) và thu thập (DAQ) theo hai dạng các tín hiệu nêu trên *Hình 1.1*.



**Hình 1.1: Sơ đồ nguyên lý MMMVS trên hệ động lực chính diesel tàu biển**

**BS** - Khối cảm biến rung động và pha (Khối các cảm biến gia tốc và pha: Gồm BA - Block accelerators khối các cảm biến (sensors) gia tốc; BSG - Block strain gauges khối tem biến dạng).

**B-DAQ** - Khối thu thập và đồng bộ hóa dữ liệu các kênh đo (DAQ NI 9234 hàng NI, gồm khung (chasis) cDAQ 9184 có 4 khe cắm, chứa 02 DAQ 9234 (8 kênh); DAQ 9237 - đo biến dạng loại DSUB 4 kênh, gồm khung CDAQ 9191 phát sóng wifi, cảm 01 DAQ NI 9237(DSUB) - tín hiệu biến dạng).

**Modem** - đồng bộ hóa tín hiệu rung động; CPU - Trung tâm xử lý; Monitoring - Hiển thị.

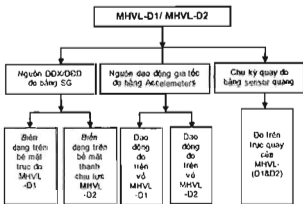
Trong thử nghiệm đường dài, với thời gian được lên kế hoạch cụ thể và chính xác cho các chế độ thử nghiệm theo từng chế độ vận tốc quay, tải tác động tới đối tượng đo (động cơ diesel và đường trục), có sự tham gia của các đại diện: Đăng kiểm, chủ tàu, nhà máy đóng tàu, ekip thuyền viên điều động vận hành tàu và máy móc thiết bị, đặc biệt là chi phí cho đợt thử tàu lớn, do vậy không cho phép đối tượng chuyên gia đo rung động có sai sót trong quá trình vận hành MMMVS cũng như không thu được và không lưu được chính xác số liệu đủ tin cậy cho xử lý chúng sau này. Một trong các biện pháp quan trọng và cần thiết là kiểm tra thiết bị đo để chắc chắn rằng MMMVS luôn ở trạng thái tốt, sẵn sàng hoạt động đo, hiển thị nhanh, chính xác kết quả đo và lưu lại các tín hiệu đo rung động chính xác và đủ thông tin cần thiết cho từng chế độ đo kiểm.

Công tác kiểm tra MMMVS tại PTN có thể tiến hành trên động cơ diesel và trên đường trục của tổ hợp D-G đã được hoàn cải phù hợp để nghiên cứu các dạng dao động tương tự như trên hệ động lực chính diesel tàu biển hoặc trên MHVL với khả năng tạo được các dạng dao động tương ứng. Cơ sở vật chất đầu tiên tạo được

các dạng dao động vật lý thực, gần giống với đối tượng được đo - hệ động lực chính (HDL)C diesel tàu thủy, đó là tổ hợp D-G, trên đó được lắp đặt các sensors đo các dạng dao động cần thiết. Đây được xem là MHVL dạng 1 (MHVL-D1) cho kiểm tra MMMVS trước khi sử dụng cho thử nghiệm đường dài. Dạng thứ 2 của MHVL (MHVL-D2) có chức năng tạo được các tín hiệu dao động tương ứng và có thể lắp đặt các sensors dùng cho MMMVS, tuy nhiên mô hình hoạt động nhanh và đơn giản hơn, chi phí thời gian và tài chính ít hơn, không gây tiếng ồn lớn trong điều kiện PTN cần được chế tạo và nghiên cứu dùng cho kiểm tra MMMVS. Trong bài báo này sẽ đề cập đến hai MHVL-D1 và MHVL-D2 đã được nhóm tác giả chế tạo và thử nghiệm cho công việc kiểm tra hoạt động của MMMVS trước khi dùng đo trên tàu thực.

**2. CƠ SỞ LÝ THUYẾT**

**2.1. Quan hệ nhân quả giữa MHVL và vị trí lắp đặt sensors của MMMVS**



**Hình 2.1: Sơ đồ quan hệ nhân quả giữa MHVL-D1 và MHVL-D2 và vị trí tín hiệu đo dao động cho kiểm tra MMMVS**

MHVL cần phù hợp với phương pháp và vị trí đặt các sensors đo dao động tương ứng với MMMVS gồm 02 SG đo biến dạng xoắn và biến dạng dọc tương ứng, 01 - sensor đo pha và 06 - accelerometers đo dao động gia tốc trên bề mặt đối tượng được đo.

**2.2. Cơ sở khoa học và công nghệ cho kiểm tra MMMVS**

Khi lắp đặt khối cảm biến (BS) trên MHVL-D1 hoặc MHVL-D2 sao cho MMMVS hoạt động tin cậy ở chế độ kiểm tra thử nghiệm. Sơ đồ nguyên lý cấu tạo MMMVS đã được chỉ ra trên *Hình 1.1*.

**2.2.1. Kiểm tra thiết bị ngoại vi (sensors, DAQ, Modem)**

Phần mềm điều khiển (driver) cho MMMVS được lập trình trên LabView, việc kiểm tra thiết bị ngoại vi (TBNV) đã được nhận dạng và cài đặt cấu hình phù hợp hay chưa ở chế độ kiểm tra được thực hiện qua hai giai đoạn: Kiểm tra nhận dạng TBNV trong MAX và kiểm tra, cài đặt cấu hình trích mẫu cho DAQ.

Đối với modem, kiểm tra sự đồng bộ của các tín hiệu đo từ một thời điểm bắt đầu đo đến thời điểm kết thúc theo thời gian trích đo  $T_1$ . Trong MMMVS có hai hệ thống DAQ con (DAQ1, DAQ2) có thể có tần số trích mẫu  $F_{s1} \neq F_{s2}$ , dẫn đến số mẫu trích được  $\#N_{s1} \neq \#N_{s2}$ . Tuy nhiên, trong một thời gian đo  $T_1$  cho hệ thống các tín hiệu dao động đo được đều cần chứa đủ thông tin cho một số chu

kỳ hoạt động nhất định của động cơ được nghiên cứu.

Tín hiệu pha có ý nghĩa quan trọng cho việc đồng bộ hóa các tín hiệu đo được. Tín hiệu pha đo bằng sensor quang của hãng OMRON, giấy phản quang được dán trên bề mặt trục quay. Tín hiệu xung vuông đo được qua xử lý có mức 0-1, tương ứng với mức điện áp 0 và 5v. Trong một vòng quay trục đo xuất hiện 01 xung vuông. Thời gian giữa hai sườn lên của hai xung liên tiếp, xác định theo tần số trích mẫu và số mẫu tương ứng (đã được xác lập trong MAX và DAQ).

Giả thiết đối với DAQ NI 9234, tần số trích mẫu  $F_{11} = 51.2 \text{ kHz}$  kênh đo, giữa hai tín hiệu các sườn lên của xung vuông đếm được số mẫu  $N_1 = 25.6 \text{ kS}$  (25600 mẫu, hay 25600 samples). Như vậy, thời gian trích mẫu cho 1 vòng quay là:

$$T_1 = N_1 / F_{11} = 25.6 / 51.2 = 0.5 (s).$$

Từ đó, ta tính được số vòng quay trong một phút:  $n_1 (\text{rpm}) = 60(s) / 0.5 = 120$ .

Tương tự, chúng ta có thể xác định vòng quay trung bình của trục theo sườn xuống. Công thức tính vòng quay trục đo được thể hiện:

$$n_1 = 60 \times F_{11} / N_1 \text{ hoặc } n_1 = 60 \times F_{11} / N_2$$

Trong công thức trên,  $F_{11}$  là tần số trích mẫu của DAQ NI 9234, còn  $N_1$  (và  $N_2$ ) - Tương ứng là số mẫu đếm được giữa hai sườn lên (và xuống) của hai xung liên tiếp cho một vòng quay đo.

### 2.2.2. Kiểm tra độ tin cậy của các tín hiệu dao động đo được

Sau khi chắc chắn các tín hiệu dao động đo được đã có mặt đầy đủ trên giao diện chính của phần mềm đo trong MMMVS, cần kiểm tra các tính chất sau của tín hiệu dao động:

- Mức đo tương đồng của các tín hiệu dao động cùng dạng ở chế độ không tải (nhieu).

- Độ nhạy của các tín hiệu dao động khi có tải.

Việc kiểm tra thực hiện nhanh bằng mắt thường trên các đồ thị thể hiện dao động trong miền thời gian thực.

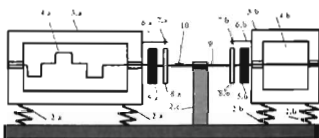
### 2.2.3. Kiểm tra lưu trữ dữ liệu đo được

Các đoạn trích mẫu cho hai nhóm tín hiệu thu được từ hai bộ DAQ NI 9234 và DAQ NI 9191 được lưu vào 02 files có tên khác nhau, sao cho dễ phân biệt với đặc thù của dạng dữ liệu, chế độ thử nghiệm và vị trí lưu trữ. Phần mềm lưu dữ liệu đo được đã được xây dựng và tích hợp trong mô-đun phần mềm đo dao động, người khai thác chỉ việc nhấn nút "SAVE" là dữ liệu tự động ghi lại. Sau khi ghi xong, chúng ta phải mở dữ liệu ra để kiểm tra lại xem các kết quả đo, lưu trữ được có đúng định dạng không, mở ra có đầy đủ thông tin cần thiết cho một số chu kỳ công tác của động cơ hay không.

## 2.3. Kết quả đạt được

### 2.3.1. MHVL dạng 1 (MHVL-D1)

MHVL-D1 là MHVL đặc trưng cho hệ động lực chính diesel lai chân vịt, được xây dựng từ tổ hợp D-G 110 kW với đoạn trục trung gian bổ sung giữa động cơ diesel và máy phát với mục đích tạo vị trí như trục trung gian để lắp các biến dạng đo dao động xoắn và dao động dọc trên bề mặt trục trung gian (Hình 2.2). Việc triển khai lắp đặt các sensors biến dạng và sensor quang đo pha trên MHVL-D1 được thể hiện trên Hình 2.3.



1 - Bộ máy; 2.a - Lò so (nhún) đặt diesel; 2.b - Lò so đặt máy phát; 2.c - Gói đỡ trục trung gian; 3.a - Thân diesel; 3.b - Thân rô to (máy phát); 4.a - Trục khuỷu diesel; 4.b - Trục rô to (máy phát); 5.a, 5.b - Bích cứng; 6.a, 6.b - Giá đỡ cảm biến điện tử; 7.a, 7.b - Cảm biến điện tử; 8.a, 8.b - Vành đĩa răng tạo xung; 9 - Đoạn trục trung gian; 10 - Tem biến dạng (dán trên mặt trục).

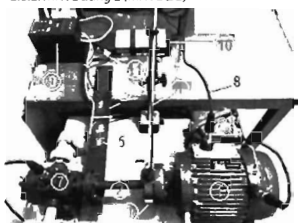
Hình 2.2: Sơ đồ nguyên lý MHVL-D1 cho kiểm tra MMMVS



1 - Giấy phản quang đo pha; 2 - Giá đỡ (để nam châm) đặt cần đo pha; 3 - Bộ góp DAQ NI9191 cùng khung cố định trên trục quay (do biến dạng); 4 - Sensor đo quang (Omron)

Hình 2.3: Hình ảnh lắp đặt tem biến dạng và sensor pha trên trục trung gian MHVL-D1

### 2.3.2. MHVL dạng 2 (MHVL-D2)



1 - Động cơ điện; 2 - Trục trung gian; 3 - Giấy phản quang đo pha; 4 - Giá đỡ (để nam châm) đặt cần đo pha; 5 - Tem biến dạng; 6 - Thanh tạo biến dạng xoắn và uốn; 7 - Bom dầu; 8 - Sensors đo dao động gia tốc; 9 - Bộ biến đổi vòng quay cho động cơ điện; 10 - DAQ NI 9191 cùng chassis phát wifi truyền tín hiệu

Hình 2.4: Hình ảnh lắp đặt tem biến dạng và sensor pha trên trục trung gian MHVL-D1

Sự khác biệt của MHVL-D2 so với MHVL-D1: Dùng động cơ điện lái bơm thủy lực thay cho tổ hợp D-G. MHVL-D2 gọn hơn nhiều so với MHVL-D1. Động cơ điện dùng biến tần (số 9, Hình 2.4), có thể thay đổi vòng quay từ rất nhỏ đến vòng quay thực tế của động cơ điện (khoảng 1500 rpm). Khi kiểm tra sự sẵn sàng hoạt động, chuẩn bị sử dụng MMMVS cho thử nghiệm trên tàu thực trên MHVL-D2 không mất nhiều thời gian để gắn chặt DAQ NI 9191 trên trục quay, vì DAQ này được kết nối với các biến dạng (5) dẫn trên thanh (6) chịu biến dạng xoắn và uốn. Ngoài ra, nguồn cấp cho DAQ này có thể dùng trực tiếp điện 220 V qua bộ biến thế và ổn áp chuẩn công nghiệp của hãng NI, mà không cần dùng nguồn pin 12V như khi đo thực tế trên trục quay. Thay đổi tốc độ quay của trục rất nhanh và thuận tiện qua việc xoay nút điều chỉnh (9). Việc kiểm tra đồng bộ hóa dữ liệu đo, lưu trữ dữ liệu đều giống nhau trên các hệ thống MHVL-D1 và -D2 tại các chế độ vận tốc quay khác nhau.

2.3.3. Một số đặc điểm trong quá trình kiểm tra MMMVS trên các MHVL

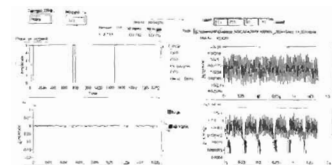
- Xây dựng mô-đun ghép nối chuẩn giữa các SG và DAQ NI-9191. Trên Hình 2.4, giữa hai đầu dây dẫn từ biến dạng (5) với DAQ NI 9191 (10) bằng đầu nối công nghiệp (11) để lắp MMMVS được thuận tiện.

- Xây dựng mô-đun điều chỉnh tốc độ vòng quay trong MHVL-D2.

Phần cứng: Nguồn điện 220 V xoay chiều qua aptomat tới thiết bị điều chỉnh vận tốc quay (INVERT, (9) trên Hình 2.4) của động cơ điện 3 pha (1). Khi xoay nút điều khiển (trên (9)), vận tốc quay trục động cơ điện thay đổi. Trên thiết bị (9) có chỉ báo vận tốc quay động cơ được điều chỉnh, tuy nhiên giá trị chỉ báo chỉ là gần đúng. Giá trị chính xác sẽ được đo bằng sensor quang (OMRON), xử lý thuật toán và xây dựng phần mềm tương ứng.

Phần mềm: Viết code trên LabView, dùng MathScript. Dưa vào giá trị hiển thị trên màn hình về vận tốc thực tế trung bình của trục quay và các xung vuông tương ứng thu được, chúng ta nhập lại giá trị vòng quay thực tế để dễ chương trình hiển thị đúng một số chu kỳ công tác của động cơ. Kết quả là các đường đặc tính dao động đo được, hiển thị trên màn hình hầu như đúng ý, không bị trôi và khi đo có thể lưu dữ liệu đo được với số lượng mẫu phù hợp.

Phần mềm (Virtual Instruments, VI) tự động xác định vòng quay thực tế được điều khiển trong quá trình kiểm tra và tự động lưu trữ tín hiệu đo được với số mẫu cần thiết theo chế độ đo tương ứng. Giao diện chính (Front Panel) trong kiểm tra thiết bị MHVL-D2 được thể hiện trên Hình 2.5.



Hình 2.5: Giao diện chính của thiết bị ảo cho kiểm tra MMMVS trên MHVL-D2

Một số lỗi, sự cố xảy ra trong quá trình kiểm tra MMMVS (Bảng 2.1).

Bảng 2.1. Một số lỗi hoặc bất thường xảy ra trong kiểm tra MMMVS

TT	Tên lỗi, sự cố	Phát hiện	Nguyên nhân, biện pháp khắc phục
1	Tín hiệu pha không đúng khi động cơ quay	Không có xung hoặc có xung không ổn định	Không có nguồn cấp hoặc vị trí sensor pha sai hoặc khai báo vòng quay sai lệnh nhiều so với thực tế
2	Các tín hiệu dao động biến dạng sai - không thay đổi theo thời gian	Đường biến dạng là đường thẳng song song với trục hoành	Trên đó thì, dải biến đổi trục tung đặt sai hoặc dây dẫn từ tem biến dạng trên DAQ NI 9191 bị đứt
3	Có tín hiệu dao động gia tốc khác xa so với các tín hiệu gia tốc còn lại	Đường dao động gia tốc khác xa so với các đường dao động khác cùng nhóm (khi đồng bộ dạng hoạt động)	Có thể sai khác là bản chất vật lý của tín hiệu (tín hiệu đúng) hoặc có thể do sai số đường dây dẫn, hoặc sai do bản thân sensor gia tốc
4	Phần mềm báo lỗi	Hiện thị thông báo lỗi	Tăng bộ nhớ đệm trong đó hoặc tắt phần mềm và khởi động lại

2.4. Phân tích kết quả và kết luận

MMMVS là hệ thống đo dao động đa kênh và MHVL-D1 và -D2 đã đáp ứng được chức năng tạo các tín hiệu dao động cho kiểm tra các kênh đo: ĐĐX, ĐĐD và các dao động gia tốc, kết hợp với kênh đo pha (Hình 2.3 và Hình 2.4). MHVL-D2 với kết cấu gọn, đơn giản và đỡ tốn kém trong vận hành thí nghiệm, tiện ích hơn trong thử nghiệm kiểm tra thiết bị đo để có thể triển khai thí nghiệm trên MHVL thực (MHVL-D1) cũng như trên hệ thống lực của tàu thực.

Kết quả thể hiện trên Hình 2.5 cho ta thông tin về vận tốc đo thực tế của trục quay (N=122.783 rpm), tốc độ trích mẫu (F=1500 Hz) và số mẫu trích đo (2195 mẫu) hiển thị trên màn hình. Nếu chúng ta chưa nhập số vòng quay (Chọn New trong N(rpm)\_CTRL -> nhập số 123) tương ứng với vòng quay thực tế, màn hình hiển thị pha có thể trôi nhanh, còn khi đã nhập giá trị bằng hoặc gần bằng giá trị vòng quay thực, đồ thị pha hầu như đứng yên).

Một số kinh nghiệm xử lý lỗi và tình huống đưa ra trong Bảng 2.1 có thể được sử dụng trong quá trình kiểm tra và hiệu chỉnh thiết bị đo khi triển khai thí nghiệm trên MHVL-D1 cũng như đo trực tiếp trên tàu thực trong thử nghiệm đường dài.

Tài liệu tham khảo

[1]. ABS (2015), Rules for building and classing Steel Ships (Part 4. VESSEL SYSTEMS AND MACHINERY).  
 [2]. ANSI, Vibration Standards, Tiêu chuẩn rung động của Hoa Kỳ (American National Standard Institute, ANSI):  
 ANSI S2.28 (2001, R2016), American National Standard Vibration Testing requirements and Acceptance Criteria for Shipboard Equipment.  
 - ANSI S2.29 (2003), Guide for the Measurement and Evaluation of Vibration of Machine Shafts on Shipboard Machinery.  
 - ANSI S2.40 (1984, R2001), Mechanical Vibration Of Rotating And Reciprocating Machinery.

[3]. Đồ Đức Lưu và các tg (2017), *Research and build a multi-channel vibration measurement system for dynamic studying of the marine propulsion plants*, Tuyển tập các công trình khoa học đăng trong Kỳ yếu Hội nghị quốc tế Các Trường Đại học Hàng hải Quốc tế (IAMU, 2017) tổ chức tại Bulgaria.

[4]. DNV (2011), *Rules for Classification of Ships*, Part 6, Chapter 15, Vibration Class.

[5]. Russian Maritime Register of Shipping, *Rules for Classification and Construction of Sea-going Ships* (Edit 2014), vol.2. Part IX "Machinery", Chapter 9 - Vibrations of Machinery and Equipments, Vibration Standards, Chapter 11, Machinery Technical Condition Monitoring Systems.

[6]. QCVN 21:2010/BGTVT (2014), *Quy chuẩn Việt Nam về phân cấp và đóng tàu biển vỏ thép*, Phần 3: Lắp đặt máy, Chương 8: Rung động xoắn hệ trục.

**Ngày nhận bài: 8/4/2019**

**Ngày chấp nhận đăng: 25/4/2019**

**Người phản biện: PGS. TS. Đinh Anh Tuấn  
TS. Vương Đức Phúc**