

GIẢI PHÁP LOẠI BỎ HIỆN TƯỢNG CHÒNG CHÀNH CHO CA NÔ NEO ĐẬU TRÊN MẶT NƯỚC DAO ĐỘNG

THE SOLUTION TO ELIMINATE THE PHENOMENON OF INSTABILITY FOR MOORED BOATS ON FLUCTUATING WATER SURFACES

Lưu Tuấn Anh¹, Ngô Thanh Bình²

¹Khoa Kỹ thuật Cơ sở, Trường Đại học Trần Đại Nghĩa (Trường SQKTQS)

²Chi nhánh phía Nam, Trung tâm Nhiệt đới Việt – Nga

TÓM TẮT

Bài báo nghiên cứu phân tích giải pháp kỹ thuật của thiết bị con quay chống lắc đang được áp dụng để giảm thiểu tối đa hiện tượng chòng chành khi ca nô vừa và nhỏ neo đậu trên mặt nước dao động. Phương pháp nghiên cứu đi từ phân tích cơ sở lý thuyết đến nguyên lý hoạt động, sau đó chế tạo thiết bị lắp mô hình tàu thu nhỏ để thực nghiệm. Kết quả thu được cho thấy nguyên lý hoạt động đưa ra là đúng đắn với khả năng giảm chòng chành từ 80 đến 96%, tuy nhiên để đạt được độ ổn định liên tục đòi hỏi phải sử dụng cảm biến và mạch điều khiển có độ tin cậy cao. Giải pháp được đưa ra trong bài báo này không những có giá trị về mặt học thuật mà còn làm cơ sở để nghiên cứu nội địa hóa thiết bị con quay chống lắc cho Việt Nam.

Từ khóa: Ca nô; Lắc ngang; Con quay chống lắc.

ABSTRACT

The research article analyzes the technical solutions of anti-roll gyroscopic devices currently being applied to minimize the phenomenon of capsizing when small and medium-sized boats are moored on fluctuating water surfaces. The research method starts with analyzing theoretical foundations and principles of operation, then proceeds to manufacture and test devices installed on scaled-down ship models. The results obtained show that the operational principles are accurate in reducing capsizing by 80 to 96%. However, achieving continuous stability requires the use of reliable sensors and control circuits. The solution proposed in this article is not only valuable in terms of academic research but also serves as a basis for localizing anti-roll gyroscopic devices for Vietnam.

Keywords: Small boat; Roll motion; Gyroscope antiroll.



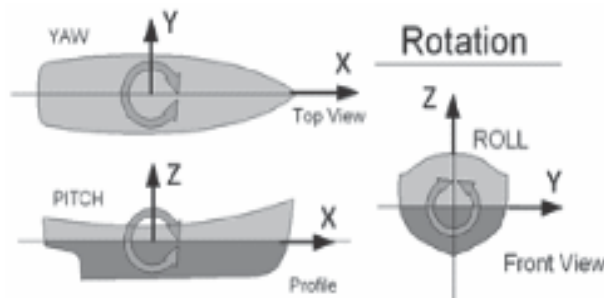
1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Các hoạt động bằng đường thủy đã gắn liền với đời sống con người Việt Nam trong buôn bán, giao thông, vận tải, đánh bắt, nuôi trồng thủy hải sản và gần đây là hoạt động du lịch đường thủy.



Hình 1. Ca nô chở khách

Chọn trọng tâm G của tàu làm gốc tọa độ, thiết lập hệ trục vuông góc như Hình 2. Nếu chuyển động dọc trục Gz và chuyển động quay quanh Gx, Gy có tính điều hòa thì sẽ gây ra hiện tượng lần lượt là lắc đứng (nhô), lắc ngang và lắc dọc.



Hình 2. Hệ trục chuyển động

Chòng chành là một tổ hợp các dạng chuyển động dao động khác nhau của tàu, mà nó có thể thực hiện trên sóng biển và trên nước tĩnh. Cường độ của các dao động này không chỉ phụ thuộc vào cường độ của sóng, mà còn phụ thuộc vào các tính năng của bản thân tàu.

Trong các chuyển động trên, chuyển

động lắc ngang của tàu khiến cho thuyền viên và hành khách bị say sóng, đồng thời có thể gây hư hỏng hàng hóa và thậm chí nếu lắc ngang quá mạnh hàng hóa chằng buộc không cẩn thận gây xô ngã, trường hợp nghiêm trọng có thể gây mất ổn định cho tàu và làm lật tàu (Hình 3). Tàu càng nhỏ thì khả năng bị mất ổn định càng lớn. Trong khi đó ảnh hưởng của lắc đứng và lắc dọc là không nguy hiểm, cho nên chỉ cần triệt tiêu hiện tượng chòng chành do lắc ngang.



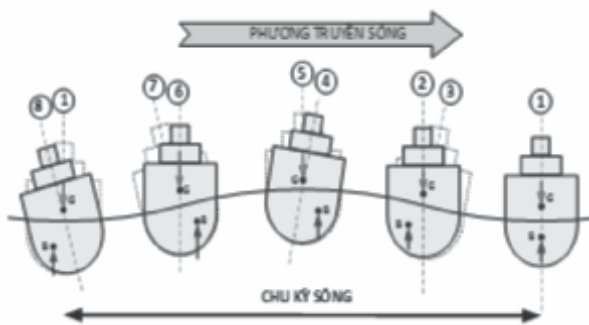
Hình 3. Ca nô bị chòng chành

Các phương pháp chống lắc hiện nay đang được sử dụng phổ biến như: Dùng vây hông cố định (Bilge Keels); sử dụng két chống lắc (Anti-rolling Tanks); Biến đổi hình dạng vỏ tàu; sử dụng vây chủ động (Fin stabilizers); Điều chỉnh lắc ngang bằng bánh lái (Rudder Roll Stabilisation – RRS) và sử dụng hiệu ứng con quay (Flywheel). Trong các phương pháp trên thì phương pháp sử dụng con quay chống lắc phù hợp với tàu bè nhỏ nói chung và ca nô nói riêng. Mặt khác nó có kích thước nhỏ gọn, linh hoạt khi có thể tháo rời, lắp lẫn trên các mẫu tàu tương đồng về tải trọng mà lại không cần thay đổi cấu trúc của thân tàu. Tuy nhiên, sản phẩm này hiện nay chưa có nhiều tài liệu nghiên cứu và chưa được sản xuất tại Việt Nam, vì vậy bài báo hướng đến phân tích nguyên lý hoạt động của thiết bị để làm cơ sở nghiên cứu phát triển sản phẩm tương tự trong nước.

2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Nguyên tắc chống lắc ngang

Tàu thuyền khi neo đậu trên mặt nước cơ bản sẽ chịu tác dụng bởi hai lực, một là trọng tâm G của tàu và hai tâm nổi B của tàu là điểm đặt của véc-tơ lực nổi tác dụng lên tàu hay đó chính là trọng tâm của khối nước mà tàu chiếm chỗ [2]. Khi tàu nổi ở trạng thái cân bằng thì lực nổi $\vec{F}_B$ và trọng lực $\vec{P}$ của tàu tác dụng cùng trên một đường thẳng đứng, bằng nhau về trị số và ngược chiều nhau. Khi tàu bị một tác nhân nào đó có tính chu kỳ như trường hợp tàu bè neo đậu trên vùng nước có sóng điều hòa với phương truyền sóng trùng với trục Gx thì phần nước chiếm chỗ của tàu thay đổi có tính chu kỳ, đồng thời vị trí tâm nổi B thay đổi theo làm xuất hiện ngẫu lực $(\vec{P}, \vec{F}_B)$ kết hợp với quán tính buộc tàu phải dao động lắc ngang điều hòa (Hình 4).



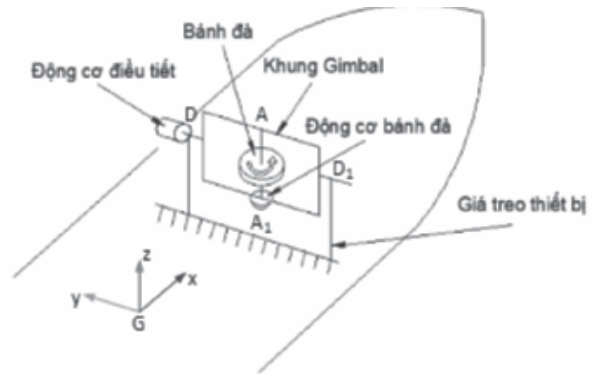
Hình 4. Lắc ngang của tàu trong một chu kỳ

Từ cơ sở lập luận trên, ta thấy rằng nguyên tắc để triệt tiêu hiện tượng lắc ngang thì phải chủ động tạo ra một ngẫu lực luôn cân bằng và ngược chiều với ngẫu lực $(\vec{P}, \vec{F}_B)$.

Nguyên nhân và nguyên tắc giảm chòng chành do lắc dọc gây ra cũng tương đồng như trường hợp lắc ngang chỉ khác là khi đó phương tác dụng của tác nhân bên ngoài trùng với trục Gy .

2.2. Cấu tạo chung của thiết bị chống lắc bằng con quay

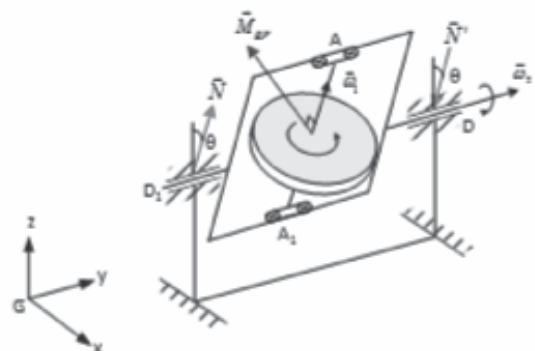
Thiết bị gồm các bộ phận như hình 5, trong đó bánh đà quay quanh trục AA_1 , khung gimbal quay quanh trục DD_1 .



Hình 5. Cấu tạo chung của thiết bị chống lắc bằng con quay

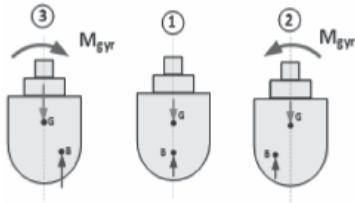
2.3. Nguyên lý làm việc của thiết bị chống lắc bằng con quay

Theo lý thuyết gần đúng về hiệu ứng con quay hai bậc tự do [3], bánh đà có mô-men quán tính J quay với vận tốc góc ω_1 , khi khung gimbal quay với vận tốc góc ω_2 thì bánh đà sẽ sinh ra một ngẫu lực $\vec{M}_{gyr} = J\vec{\omega}_1 \times \vec{\omega}_2$ tương đương với cặp ngẫu lực $(\vec{N}, \vec{N}')$ tác động lên ổ đỡ D và D_1 (Hình 6).



Hình 6. Con quay hai bậc tự do

Căn cứ vào cơ sở lý thuyết này, tại thời điểm trên tàu xuất hiện ngẫu lực $(\vec{P}, \vec{F}_B)$ thì ngay lập tức ta chủ động tạo ra ngẫu lực $\vec{M}_{gyr}$ đối trọng sẽ triệt tiêu được nguồn dao động lắc ngang, hay nói cách khác là tàu sẽ không bị chòng chành.

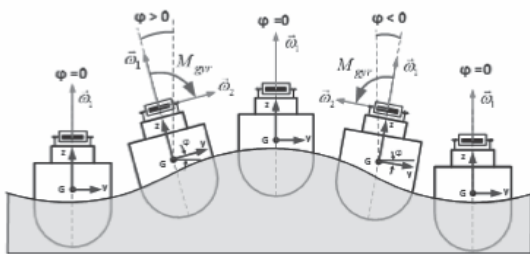


Hình 7. Nguyên lý làm việc khi tác nhân gây lắc có tính chu kỳ

2.4. Phương pháp điều khiển thiết bị

Thực tế, véc-tơ ngẫu lực $(\vec{P}, \vec{F}_B)$ trùng với trục Gx, trong khi đó véc-tơ ngẫu lực $\vec{M}_{gyr}$ tạo với trục Gx một góc θ . Do đó, mô-men chống lắc sẽ là $\vec{M}_{antiroll} = \vec{M}_{gyr} \cos \theta$.

Để thiết bị con quay làm việc đòi hỏi phải có một bộ phận điều khiển với các nhiệm vụ: Thay đổi chiều của mô-men chống lắc $\vec{M}_{antiroll}$ ngược với ngẫu lực $(\vec{P}, \vec{F}_B)$; Hiệu chỉnh thông số của động cơ điều tiết khung gimbal và động cơ bánh đà để trị số của $\vec{M}_{antiroll}$ luôn tiến sát trị số ngẫu lực $(\vec{P}, \vec{F}_B)$. Đây là vấn đề không đơn giản. Giải pháp để giải quyết khó khăn trên đó là chủ động đổi chiều $\vec{M}_{antiroll}$ theo góc nghiêng ϕ của sàn tàu (Hình 8).



Hình 8. Nguyên lý điều khiển

2.5. Chế tạo thiết bị con quay cho ca nô mô hình thu nhỏ

a) Thiết kế phần cơ khí

Ta chọn ca nô mô hình có:

- Kích thước chính: dài x rộng x cao = 80x20x15cm.

- Độ giãn nước $D = 10\text{kg}$.

- Cánh tay đòn ổn định [3] đo thực nghiệm $\overline{GZ}_{\max} = 0,05\text{m}$.

Như vậy, mô-men hồi phục của tàu [3]:

$$M_{ph}^{\max} = D(\overline{GZ}_{\max}) = 5\text{kg} \cdot \text{m}$$

Căn cứ vào mô-men phục hồi, ta chế tạo bộ phận cơ khí gồm có (Hình 9):

- Bánh đà làm bằng thép C45 có khối lượng riêng $\rho = 7850\text{kg/m}^3$, dạng đĩa tròn với đường kính 12cm và dày 1,35cm, có mô-men quán tính $J = 2,16 \cdot 10^{-3}\text{kg} \cdot \text{m}$;

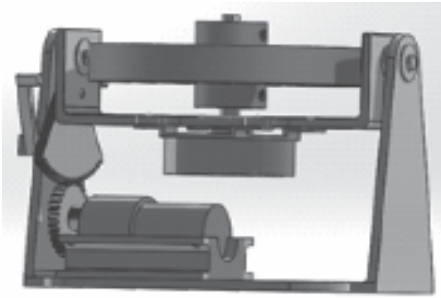
- Sử dụng động cơ không chổi than ba pha làm động cơ bánh đà có tốc độ $n = 5600$ vòng/phút;

- Sử dụng động cơ bước làm động cơ điều tiết;

- Động cơ điều tiết truyền động cho khung gimbal bằng truyền động bánh răng;

- Khung gimbal làm bằng nhôm;

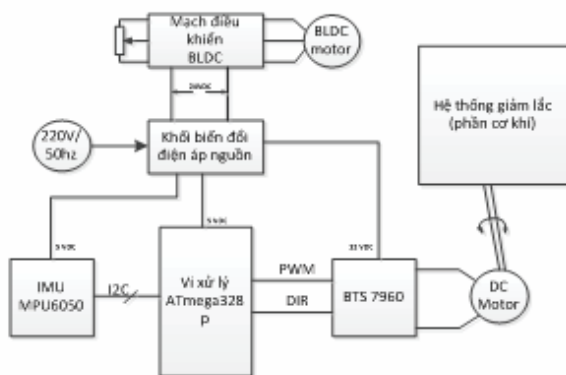
- Giá treo thiết bị làm bằng thép C45 gắn cứng vào thân tàu.



Hình 9. Phần cơ khí của thiết bị

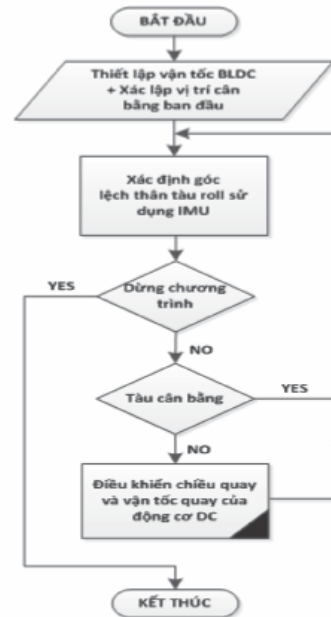
b) Thiết kế bộ phận điều khiển

Từ phân tích nguyên lý điều khiển nêu trên, bộ phận điều khiển sẽ gồm có: bộ nguồn nuôi và động cơ chính điều khiển bánh đà được điều khiển trực tiếp qua driver và chiết áp. Ngoài ra, việc kiểm soát góc quay ω_2 gồm các khối sau: vi xử lý, cảm biến góc IMU, động cơ DC với mô-men xoắn cao cùng driver điều khiển động cơ (Hình 10). Vi xử lý 8 bit Atmega 328p sử dụng kết hợp với cảm biến góc IMU MPU6050 để xác định góc θ (roll) giữa mặt sàn tàu và mặt nước tĩnh. Việc xử lý sai số góc quay được thực hiện bằng cách sử dụng bộ lọc bù, với hệ số bù lần lượt là 0,9 và 0,1 cho hai góc roll và pitch [5], với tần số xử lý lấy mẫu là 250Hz, tương thích với chuẩn giao tiếp I2C đang được sử dụng với vi xử lý.

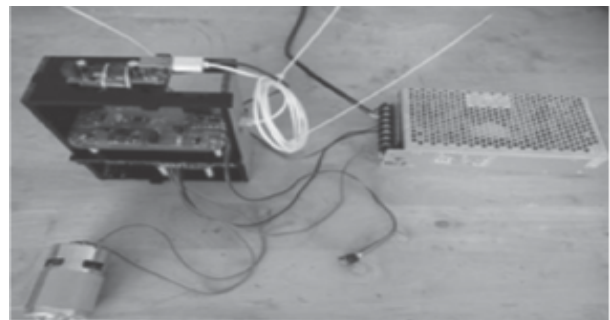


Hình 10. Sơ đồ khối nguyên lý hệ thống điện – điều khiển của thiết bị

Trong quá trình thử nghiệm sử dụng đồ thị tuyến tính từ 0 đến 35°. Lưu đồ thuật toán và bộ phận điều khiển hoàn chỉnh được thể hiện như trên Hình 11 và 12.



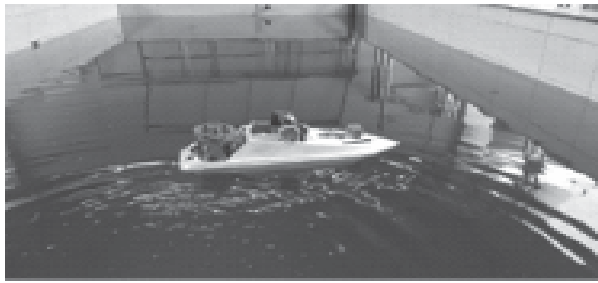
Hình 11. Lưu đồ thuật toán của hệ thống điều khiển



Hình 12. Bộ phận điều khiển hoàn chỉnh

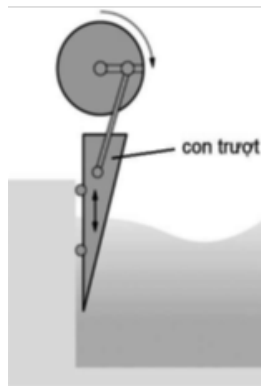
3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

Lắp ráp bộ phận điều khiển và phần cơ khí của thiết bị lên tàu, sau đó đặt tàu vào bể nước, thực hiện tạo các đợt sóng nhân tạo với biên độ sóng khác nhau. Đo kiểm tra góc nghiêng của tàu trước và sau khi bật thiết bị con quay.



Hình 13. Thực nghiệm trên bể nước

Bể nước dùng làm thí nghiệm có kích thước 2x6x1,5m. Để tạo sóng nhân tạo có nhiều phương pháp, trong thực nghiệm này sử dụng phương pháp tay quay con trượt.



Hình 14. Cơ cấu tạo sóng

Khi giữ nguyên chiều cao sóng $2\zeta_a = 0,05\text{m}$, thay đổi bước sóng tăng dần từ $\lambda = 0,4\text{m}$ đến giới hạn $\lambda = 0,8\text{m}$, ta thu được bảng số liệu:

Bảng 1. Hiệu suất chống lắc khi giữ nguyên chiều cao sóng 0,05m và thay đổi bước sóng tăng dần từ $\lambda = 0,4\text{m}$ đến giới hạn $\lambda = 0,8\text{m}$

TT	Bước sóng (m)	Góc nghiêng của tàu (độ)		Hiệu suất chống lắc(%)
		Chưa bật thiết bị	Đã bật thiết bị	
1	0,4	5	0,22	95,6
2	0,5	7	0,3	95
3	0,6	10	0,7	93
4	0,7	15	1,25	91
5	0,8	20	2	90

Khi giữ nguyên bước sóng $\lambda = 0,8\text{m}$, thay đổi chiều cao sóng tăng dần từ $2\zeta_a = 0,01\text{m}$ đến giới hạn $2\zeta_a = 0,05\text{m}$, ta thu được bảng số liệu:

Bảng 2. Hiệu suất chống lắc khi giữ nguyên bước sóng $\lambda = 0,8\text{m}$ và thay đổi chiều cao sóng tăng dần từ 0,01m đến giới hạn 0,05m

TT	Chiều cao sóng (m)	Góc nghiêng của tàu (độ)		Hiệu suất chống lắc(%)
		Chưa bật thiết bị	Đã bật thiết bị	
1	0,01	13	1,84	85,8
2	0,02	19	3,2	83
3	0,03	28	4,89	82,5
4	0,04	34	6,21	81,7
5	0,05	40	7,78	80,5

Trong quá trình thực nghiệm, ghi nhận hiện tượng các số liệu tăng hoặc giảm bất thường đối với cùng một điều kiện biên tương ứng với các giá trị góc nghiêng ϕ dị thường. Nguyên nhân có thể do cảm biến góc IMU MPU6050 mất ổn định tạm thời.

Đối với mỗi điều kiện biên, thực nghiệm 03 lần và lấy giá trị trung bình (không tính thí nghiệm có giá trị bất thường).

Ngoài ra, khi kiểm tra khả năng chống nghiêng của mô hình tàu khi tác nhân gây nghiêng là gió nhẹ tốc độ 3 m/s:

- Đối với thời gian tác dụng của gió là tức thời, kết quả thực nghiệm ghi nhận là tàu không bị nghiêng.

- Đối với thời gian tác dụng của gió liên tục kéo dài, kết quả thực nghiệm ghi nhận là sau khoảng thời gian hơn 10 giây thì tàu bắt đầu nghiêng.

Kết quả trên phù hợp với nguyên lý làm việc và nguyên lý điều khiển của thiết bị con quay, tức khi có tác nhân gây lắc thì bộ phận điều khiển khởi động động cơ điều tiết khung gimbal. Như ta đã biết, từ mục 2.4 thu được $M_{\text{antiroll}} = M_{\text{gyr}} \cos \theta$, nói cách khác, khả năng hoạt động hiệu quả của thiết bị khi $0 \leq \theta < 90^\circ$. Vì vậy, khi tác nhân kéo dài và liên tục sẽ làm góc θ tăng dần đến giới hạn 90° và kết quả là $M_{\text{antiroll}} = 0$, sau đó tàu bắt đầu nghiêng. Góc θ tăng dần đến giới hạn 90° trong thời gian ngắn nếu mô-men cưỡng bức của tác nhân không có tính chu kỳ lớn.

4. KẾT LUẬN

Bài báo đã phân tích được nguyên nhân làm gây ra hiện tượng chòng chành của tàu, qua đó đưa ra nguyên tắc để triệt tiêu tác động này, đặc biệt đi sâu nghiên cứu phương pháp sử dụng thiết bị con quay chống lắc.

Kết quả thực nghiệm cho thấy nguyên lý chống lắc và điều khiển thiết bị con quay theo góc nghiêng của tàu là đúng đắn và làm đơn giản hóa bài toán điều khiển. Trên cơ sở thực nghiệm, tác giả thấy rằng thiết bị con quay chỉ có thể triệt tiêu hiện tượng chòng chành với tác nhân gây lắc có tính chu kỳ.

Mặt khác, hiệu quả làm việc của thiết bị phụ thuộc vào độ chính xác của cảm biến, vì trong quá trình thực nghiệm xảy ra hiện tượng mất ổn định do cảm biến đưa thông tin không chính xác.

Do thực nghiệm được thực hiện trên tàu mô hình và trong điều kiện dao động lý tưởng, cho nên kết quả thực nghiệm chỉ có tính tham khảo để minh chứng khả năng giảm lắc ngang theo phương pháp bài báo đưa ra.

Trong trường hợp một thiết bị con quay không tạo đủ mô-men chống lắc thì có thể lắp thêm nhiều thiết bị con quay dọc theo trục Gx. Ngoài ra, trường hợp tàu có cả chuyển động lắc ngang và lắc dọc thì ta bố trí 2 cụm thiết bị con quay với phương đặt giá treo lần lượt theo trục Gx và Gy.

Thiết bị con quay nhỏ gọn, hoàn toàn có thể tháo lắp dễ dàng và có thể lắp lần trên các tàu khác nhau với cùng tải trọng.

Kết quả bài báo là cơ sở quan trọng cho các nghiên cứu tiếp theo để có thể hoàn thiện hơn nguyên lý điều khiển thiết bị phục vụ mục tiêu nội địa hóa sản phẩm này.

Ngày nhận bài: **12/3/2024**

Ngày phản biện: **01/4/2024**

Tài liệu tham khảo:

- [1]. Phạm Văn Huân; *Cơ sở hải dương học*, NXB. Khoa học và Kỹ thuật – Hà Nội, 1991.
- [2]. TS. Phùng Văn Khương, ThS Phạm Văn Vĩnh; *Thủy lực và máy thủy lực*, NXB. Giáo dục Việt Nam, 2009.
- [3]. Trần Công Nghị; *Lý thuyết tàu – Tập 1*, NXB. Đại học Giao thông Vận tải Thành phố Hồ Chí Minh, TP. Hồ Chí Minh, 2009.
- [4]. X. M. Targ, *Giáo trình giản yếu cơ học*, NXB. “Mir” - Matxcova, 1979.
- [5]. Kỹ yếu các đề tài nghiên cứu, ứng dụng KH&CN tập IX, giai đoạn 2013-2015.
- [6]. Alex Kien-Boon, Collin Howe-Hing Tang, Hooi-Sian Kang, Kee-Quen Lee, Chee-Loon Siow. *Gyroscopic Stabilisation of rolling motion in simplified marine hull model*. Published in: 2007 IEEE 7th International Conference on Underwater System Technology: Theory and Applications (USYS).