

THIẾT KẾ HỆ THỐNG TỰ ĐỘNG CÂN BẰNG CHO THIẾT BỊ TRỤC VỐT LỤC BÌNH

STUDY ON DESIGN OF AUTOMATIC BALANCING OF WATER HYACINTH HARVESTER MACHINE

Hồ Nhật An¹, Dương Phúc Long², Phan Hoàng Long¹, Nguyễn Tấn Tiến¹

¹Khoa Cơ khí, Trường Đại học Bách khoa, Đại học Quốc gia TP.Hồ Chí Minh

²DCSELab, Trường Đại học Bách khoa, Đại học Quốc gia TP.Hồ Chí Minh

TÓM TẮT

Bài báo trình bày giải pháp cân bằng tự động cho thiết bị vớt lục bình hoạt động trên các kênh rạch. Cân bằng cho các thiết bị làm việc trên mặt nước là vấn đề cần được quan tâm, nhằm đảm bảo an toàn trong quá trình vận hành. Dựa vào khoảng trống thực tế trong khoang của thiết bị vớt lục bình, giải pháp sử dụng các đối trọng được điều khiển theo hai phương vuông góc tạo ra mô men cân bằng cho thiết bị. Bộ điều khiển trượt đơn giản được sử dụng để điều khiển các đối trọng. Kết quả mô phỏng bằng Matlab chứng minh khả năng ứng dụng của giải pháp đề nghị.

Từ khóa: Cân bằng tự động; Điều khiển trượt; Thiết bị vớt lục bình.

ABSTRACT

This paper presents an automatic balancing solution for water hyacinth harvester machine working on canals. Balance for machine floating on water is a matter of concern in design to ensure safety during operation. Base on the actual empty spaces in machine, the controlled counterweights are used for balancing the device during working. The basic sliding-mode control is used to control the counterweights. The simulation results by Matlab shows the applicability of the proposed solution.

Keywords: Automatic balancing; Sliding control; Water hyacinth harvester machine.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

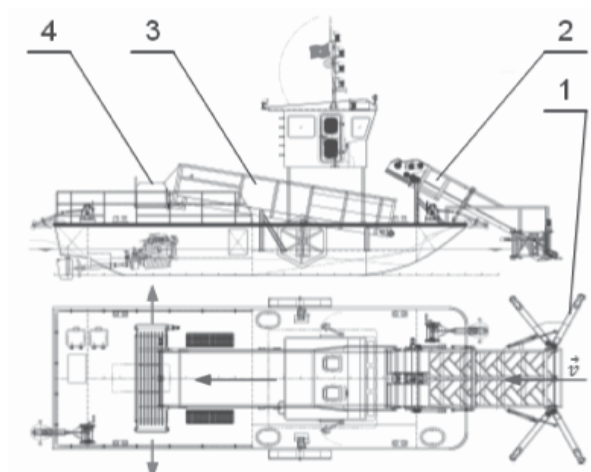
Thiết bị vớt lục bình được sử dụng để thu gom và loại bỏ lục bình mọc trên các kênh, rạch, sông hoặc hồ. Thiết bị có nhiều kích thước khác nhau phụ thuộc vào nhu cầu, nơi làm việc nhưng đều có cấu tạo cơ bản chung bao gồm: Cụm vớt, cụm chứa và cụm xả tải.

Thông thường lục bình phát triển thành mảng lớn ngăn cản dòng chảy và các hoạt động đi lại của thiết bị thuyền. Tùy theo điều kiện thực tế, quy trình vớt lục bình để khai thông dòng chảy tạo điều kiện lưu thông đường thủy bao gồm một hoặc hai bước chính gồm: 1) Phá tầng lục bình; 2) Vớt lục bình. Các bước còn lại sau khi vớt sẽ tùy thuộc vào yêu cầu xử lý hoặc sử dụng lục bình đã vớt.



Một số nghiên cứu trong nước được thực hiện để giải quyết vấn đề lục bình: Nguyễn Quốc Hưng [1], nghiên cứu hoàn thiện máy cắt vớt rong, cỏ dại, lục bình cỡ nhỏ trên kênh, mương cấp thoát nước khu vực TP.Hồ Chí Minh (2016); Bùi Trung Thành [2] nghiên cứu thiết kế, chế tạo hệ thống máy, thiết bị cắt rong, cỏ dại, vớt bèo tây, rác thải nổi trong lòng kênh, mương, hồ chứa nước (2008); Hoàng Tử Cường [3], nghiên cứu chế tạo thiết bị thu gom rác nổi (2006); ... Tuy nhiên, chưa có thiết bị nào đề cập đến vấn đề tự động cân bằng khi làm việc. Bài báo này đề xuất mô hình cân bằng tự động cho thiết bị vớt lục bình trên kênh rạch đang được nghiên cứu và triển khai tại DCSELab.

Thiết bị có cấu tạo bao gồm các bộ băng tải hoạt động nhờ hệ thống thủy lực được lắp đặt chắc chắn trên phao nổi, phía trước băng tải vớt được lắp đặt thêm bộ tay gom nhằm tăng tính linh hoạt chủ động cho thiết bị.

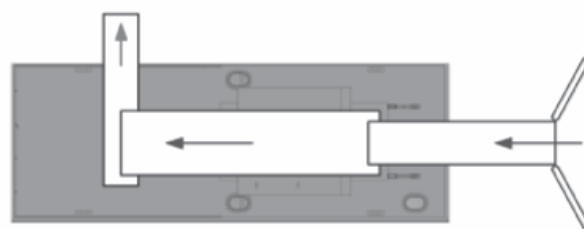


1) Tay gom lục bình; 2) Băng tải vớt lục bình;
3) Băng tải chứa lục bình; 4) Băng tải xả lục bình.

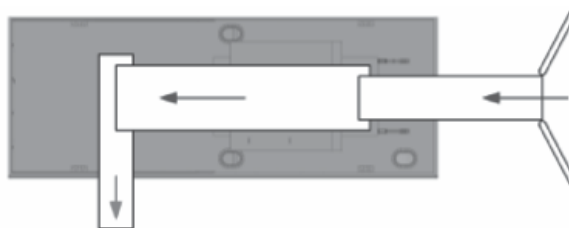
Hình 1. Thiết bị vớt lục bình sử dụng trong nghiên cứu

Tại vị trí làm việc, thiết bị sẽ hạ hệ thống băng tải vớt và hoạt động. Lục bình sẽ được gom lại bằng tay gom 1 và được vớt lên

thiết bị bằng băng tải dọc 2, sau đó được chứa trên băng tải 3 và cuối cùng được xả khỏi thiết bị qua băng tải ngang 4. Sau khi thu gom, thiết bị sẽ di chuyển đến vị trí xả tải. Tùy vào vị trí cần xả tải mà lục bình được xả theo mạn trái hoặc mạn phải của thiết bị.



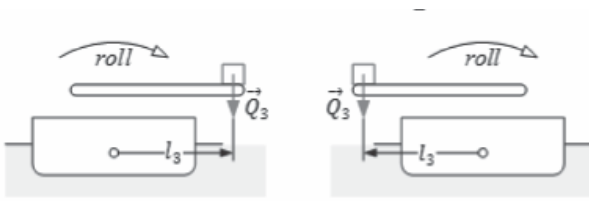
a) Mạn trái



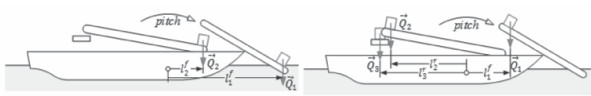
b) Mạn phải

Hình 2. Sơ đồ xả tải lục bình mạn phải và mạn trái của thiết bị

Trong quá trình vận hành, trọng lượng của lục bình khi được vớt lên sẽ làm cho thiết bị mất cân bằng, tăng nguy cơ xảy ra sự cố nguy hiểm. Các trạng thái gây mất cân bằng cho thiết bị bao gồm các trường hợp: 1. Vớt lên trên băng tải dọc; 2. Di chuyển trong băng tải chứa; 3. Di chuyển ngang trong băng tải xả và 4. Các nguồn nguyên nhân khác. Bài báo đề xuất giải pháp cân bằng cho hệ thống với các lượng mất cân bằng gây ra do 1, 2 và 3; Riêng 4 được xử lý như nhiều vào hệ thống. Trong thực tế, thiết bị cũng có thể sẽ gặp phải trường hợp vớt mảng lục bình lớn, rễ cắm chặt dưới bùn, kéo thiết bị chúi đột ngột về phía trước, dẫn đến nguy cơ làm mất an toàn cho thiết bị và cả người vận hành, điều này cũng sẽ được tính toán xem như một dạng nhiễu bất thường vào hệ thống.



a) Theo phương ngang



b) Theo phương dọc

Hình 3. Trường hợp thiết bị mất cân bằng

Như đã đề cập, lực bình là đối tượng chính gây mất cân bằng cho thiết bị. Trọng lượng lực bình khi được vớt lên bằng tải sinh ra mô men gây chúi thiết bị, còn khi thải xả, trọng lượng lực bình thay đổi sẽ sinh ra mô men nghiêng ngược thiết bị. Nhằm xác định mô men nghiêng giới hạn lớn nhất phục vụ cho việc tính toán, phân tích, đánh giá an toàn thiết bị, ta xem trọng lượng lực bình như một vật nặng lớn, tập trung tại vị trí xa nhất tính từ trọng tâm thiết bị đến vị trí xa nhất trên băng tải vớt và băng tải thải. Từ đó, vị trí và khối lượng của vật đối trọng sẽ được tính toán chính xác để đảm bảo cho hệ thống cân bằng.

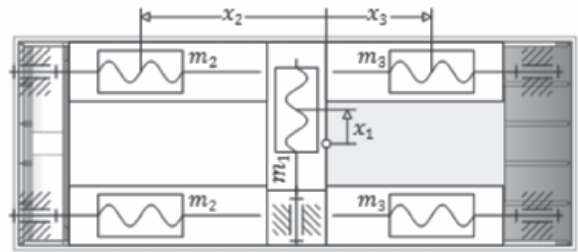
2. GIẢI PHÁP ĐỀ NGHỊ

2.1. Mô hình hóa

Thiết bị trực vớt lực bình khi xảy ra hiện tượng mất cân bằng như đã đề cập như phần mô tả sẽ dẫn đến việc thiết bị bị ảnh hưởng bởi momen nghiêng theo góc roll và góc pitch như biểu diễn theo Hình 3.

Để cân bằng lại momen gây ra mất cân bằng cho thiết bị, một hệ các đối trọng được bố trí trong khoang thiết bị để tạo momen phục hồi so với trọng tâm của thiết bị. Để tạo ra momen cân bằng, ta thay đổi khối lượng hoặc cánh tay

đòn so với trọng tâm của thiết bị đối trọng với khối lượng của lực bình. Tác giả đề xuất cơ cấu tạo momen cân bằng bằng thay đổi chiều dài cánh tay đòn thông qua điều khiển vị trí. Sơ đồ nguyên lý của cơ cấu được thể hiện ở Hình 4.



Hình 4. Sơ đồ nguyên lý hệ thống cân bằng

Hệ thống cân bằng sử dụng bộ 5 khối nặng gồm 1 con nặng m_1 để cân bằng cho góc roll, 2 khối nặng m_2 và 2 khối nặng m_3 để cân bằng cho góc pitch. Trong thực tế, trọng tâm thiết bị thay đổi liên tục do chịu tác động của các khối lượng bên ngoài. Giả thiết trọng tâm của thiết bị đặt tại trọng tâm hình học của thiết bị và không đổi. Mô hình hóa cho hệ cân bằng thiết bị:

$$\begin{cases} I_p \ddot{\theta}_p = g(2m_2x_2 - 2m_3x_3) - gm_f x_f \\ I_r \ddot{\theta}_r = g2m_1x_1 - gm_f y_f \end{cases}$$

Với, I_p : Momen quán tính của thiết bị theo trục pitch, N/m; I_r : Momen quán tính của thiết bị theo trục roll, N/m; θ_p : Đạo hàm cấp 2 góc nghiêng của thiết bị theo trục pitch, °; θ_r : Đạo hàm cấp 2 góc nghiêng của thiết bị theo trục roll, °; g : Gia tốc trọng trường, m/s²; m_i : Khối lượng của các con nặng, kg; x_i : Khoảng cách từ trọng tâm con nặng đến trọng tâm thiết bị, mm; m_f : Khối lượng lực bình tác động, kg; x_f và y_f : Cánh tay đòn ngoại lực theo phương x và y đối với trọng tâm thiết bị, mm.

Xét các momen ngoại lực tác động do trực vớt lực bình làm thiết bị mất cân bằng là

một dạng nhiễu hệ thống, khi đó:

$$\ddot{\theta}_p = \frac{g}{I_p} [(2m_2x_2 - 2m_3x_3)] + d_p$$

$$\ddot{\theta}_r = \frac{g}{I_r} m_1x_1 + d_r$$

với, d_p : Nhiễu theo trục pitch; d_r : Nhiễu theo trục roll.

2.2. Nhiễu gây mất cân bằng thiết bị

Theo tiêu chuẩn, thiết bị làm việc trên kênh được phép dao động với biên độ an toàn $\pm 4^\circ$. Hệ thống vớt lục bình có thể gây nên dao động ngoài giới hạn này trong quá trình vớt và xả tải. Để kiểm tra bài toán điều khiển, nhiễu có thể ước lượng khoảng 10% tải của thiết bị. Hai loại nhiễu nghiên cứu bao gồm nhiễu bước và điều hòa.

2.3. Thiết kế bộ điều khiển

Sai số góc nghiêng của thiết bị:

$$\begin{cases} e_1 = \theta_p^d - \theta_p \\ e_2 = \theta_r^d - \theta_r \end{cases}$$

Với, e_1, e_2 : Sai số theo trục pitch và trục roll; θ_p^d, θ_r^d và θ_p, θ_r : Giá trị góc nghiêng mong muốn và thực tế của thiết bị theo phương pitch và roll.

Thiết kế bộ điều khiển trượt cho hệ thống cân bằng thiết bị, các mặt trượt được định nghĩa:

$$\begin{cases} s_1 = \dot{e}_1 + \lambda_1 e_1 \\ s_2 = \dot{e}_2 + \lambda_2 e_2 \end{cases}$$

Với, $\lambda_1 > 0$ và $\lambda_2 > 0$ là hệ số điều khiển thỏa Hurwitz.

Luật điều khiển trượt được thiết kế:

$$u = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{bmatrix} = C^{-1} [\lambda_1 s_1 \dot{\theta}_p + \lambda_2 s_2 \dot{\theta}_r - k_1 s_1 \text{sign}(s_1) - k_2 s_2 \text{sign}(s_2)]$$

$$\text{Với, } C = -g \begin{bmatrix} \frac{m_1 s_2}{I_r} & 2 \frac{m_2 s_1}{I_p} - 2 \frac{m_3 s_1}{I_p} \end{bmatrix}$$

Xét hàm Lyapunov V và đạo hàm $\dot{V}$.

$$V = \frac{1}{2} s_1^2 + \frac{1}{2} s_2^2 > 0$$

$$\dot{V} = s_1 \dot{s}_1 + s_2 \dot{s}_2$$

$$= -k_1 |s_1| - k_2 |s_2| < 0$$

Với, $k_1, k_2 > 0$: hệ số điều khiển.

Vì $V \geq 0$ và $\dot{V} < 0$, bộ điều khiển được chứng minh ổn định.

Để tránh hiện tượng chattering cho tín hiệu điều khiển, hàm tanh được sử dụng ở bộ điều khiển thiết kế này.

$$u = C^{-1} [\lambda_1 s_1 \dot{\theta}_p + \lambda_2 s_2 \dot{\theta}_r - k_1 s_1 \tanh(s_1) - k_2 s_2 \tanh(s_2)]$$

3. KẾT QUẢ MÔ PHỎNG

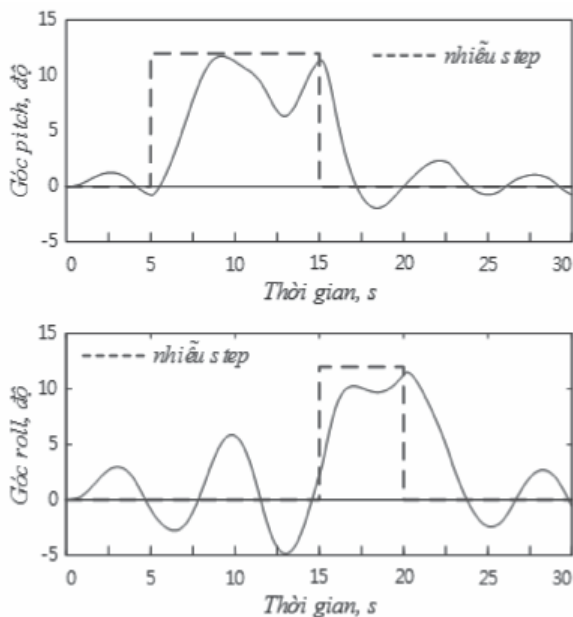
Bộ điều khiển cho hệ cân bằng thiết bị được mô phỏng trên Matlab. Các thông số kỹ thuật thực tế của thiết bị trục vớt lục bình được sử dụng:

Bảng 1. Thông số mô phỏng

Thông số	Giá trị
Momen quán tính theo trục roll, I_r	295949
Momen quán tính theo trục pitch, I_p	558802
Khối lượng đối trọng 1, m_1	500
Khối lượng đối trọng 2, m_2	200
Khối lượng đối trọng 3, m_3	200
Giới hạn góc nhiễu điều hòa	$[-4,4]$
Giới hạn góc nhiễu bước khi tải	$[0,12]$

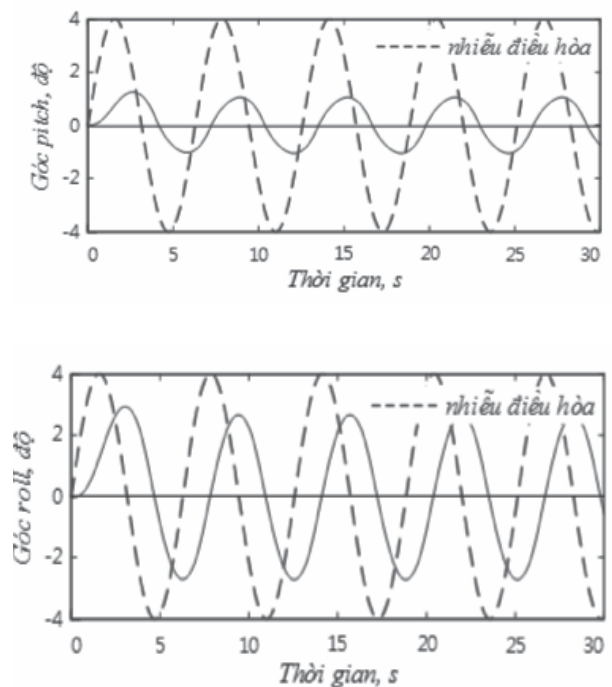
Các mô phỏng được thực hiện trong 2 trường hợp: Giữa không nhiễu và có nhiễu ngoại lực. Để đảm bảo tính đáp ứng của bộ điều khiển, các nhiễu được đặt ngẫu nhiên trong giới hạn cho phép.

Đối với trường hợp có nhiễu ngoại lực, bài toán được mô phỏng cho trường hợp thiết bị trực vớt lực bình và di chuyển lực bình trên các băng tải dọc và băng tải ngang, sau đó xả tải.



Hình 5. Đồ thị đáp ứng góc nghiêng - trường hợp có nhiễu bước

Đối với trường hợp có nhiễu điều hòa từ bản thân của thiết bị mà không có tác động đến từ lực bình, các đối trọng cân bằng thiết bị giữ cho thiết bị dao động với biên độ cho phép $<4^\circ$



Hình 6. Đồ thị đáp ứng góc nghiêng - trường hợp có nhiễu điều hòa

Nhận xét:

Đối với trường hợp không có nhiễu tác động từ ngoại lực khi trực vớt lực bình, mô phỏng cho tình huống thiết bị chỉ chịu các nhiễu ngoại lực rất nhỏ như gió hoặc gần như không có, bộ điều khiển cho ra đáp ứng góc nghiêng của thiết bị bám dao động quanh góc 0° lần lượt là $\sim 1.5^\circ$, với góc pitch và $\sim 2.4^\circ$ với góc roll.

Đối với trường hợp có nhiễu tác động lớn đến từ lực bình, trong mô phỏng là nhiễu step, bộ điều khiển vẫn có khả năng cho ra đáp ứng bám lấy giá trị mong muốn sau khi chịu tác

động từ nhiều với biên độ dao động $<4^0$.

4. KẾT LUẬN

Bài báo trình bày giải pháp cho cân bằng tự động cho hệ thống vớt lục bình trên kênh rạch. Từ nghiên cứu nguyên nhân gây mất cân bằng trên thiết bị vớt lục bình đang được triển khai tại DCSELab, bài toán cân bằng tự động được đề xuất và giải quyết. Kết quả mô phỏng dùng Matlab minh chứng tính khả thi cho giải pháp đề nghị. Vấn đề hoàn thiện trên thiết bị thực tế đang được tiếp tục triển khai tại DCSELab.

Lời cảm ơn:

Nghiên cứu này được tài trợ bởi Đại học Quốc gia TP. Hồ Chí Minh (ĐHQG-HCM) trong khuôn khổ đề tài mã số TX2023-20b-01. Chúng tôi xin cảm ơn Phòng Thí nghiệm Trọng điểm Điều khiển số và Kỹ thuật Hệ thống, Trường Đại học Bách khoa, ĐHQG-HCM đã hỗ trợ thời gian, phương tiện và cơ sở vật chất cho nghiên cứu này. ❖

Ngày nhận bài: **25/3/2023**

Ngày phản biện: **26/4/2023**

Tài liệu tham khảo:

- [1]. Nguyễn Quốc Hưng; *Hoàn thiện, thiết kế, chế tạo máy cắt vớt rong, cỏ dại, lục bình cỡ nhỏ trên kênh, mương cấp thoát nước khu vực TP.Hồ Chí Minh*, Báo cáo tổng kết đề tài NCKH, Sở KHCN TP.Hồ Chí Minh, 2016.
- [2]. Bùi Trung Thành; *Nghiên cứu thiết kế, chế tạo hệ thống máy, thiết bị cắt rong, cỏ dại, vớt bèo tây, rác thải nổi trong lòng kênh, mương, hồ chứa nước*, Báo cáo Tổng kết đề tài KC05.06-10, 2008.
- [3]. Hoàng Tử Cường; *Nghiên cứu chế tạo thiết bị thu gom rác nổi*, Báo cáo Nghiệm thu đề tài NCKH, sở KHCN TP.Hồ Chí Minh, 2006.
- [4]. Tang Meng, Guo Jang (2010), *Research on Balance Control for Ship Roll Stability based on Transferring Liquid Among Water Cabins*, 2nd Int'l Conf. on Computer Eng. and Technology.
- [5]. Tang Meng, Guo Jang (2009), *Modelling for Athwartships Trim of shipbalance and Actuator with Transferring Liquid Among Tanks*, IEEE Int'l Conf. on Information and Automation.
- [6]. Samson Nitonye (2013), *Stability Analysis for the Design of 5000-Tonnes Offshore Work Barge*, Int'l Journal of Eng. and Technology, Vol.3, No.9:849.
- [7]. Jeonghwa Seom, Hak-Kyu Choi, Uh-Cheul Jeong (2016), *Model Tests on Resistance and Seakeeping Performance of Wave-piercing High-Speed Vessel with Spray Rails*, Int'l Journal of Naval Architecture and Ocean Eng.