

THIẾT KẾ HỆ THỐNG TỰ ĐỘNG CÂN BẰNG CHO THIẾT BỊ PHÁ TẢNG LỤC BÌNH

DESIGN OF SELF BALANCING OF WATER HYACINTH BREAKER

Hồ Nhật An^{1,3}, Nguyễn Công Nguyên^{2,3}, Dương Phúc Long^{1,2,3}, Nguyễn Tấn Tiến^{1,2,3}

¹Khoa Cơ khí, Trường Đại học Bách Khoa Thành phố Hồ Chí Minh

²DCSELab, Trường Đại học Bách Khoa Thành phố Hồ Chí Minh

³Đại học Quốc gia Thành phố Hồ Chí Minh

TÓM TẮT

Bài báo trình bày giải pháp mới trong việc thiết kế và phát triển thiết bị phá tảng lục bình nhằm khắc phục những khuyết điểm còn tồn tại trong các nghiên cứu trước đây tại Việt Nam. Việc băm phá khối lục bình kết thành tảng lớn là một phần việc quan trọng trong quy trình tổ hợp xử lý lục bình hiện nay. Trong quá trình phá tảng lục bình, thiết bị có nguy cơ bị mất cân bằng chủ yếu do lực cắt của cụm dao cắt gây ra. Một trong những phương án hiệu quả để xử lý mất cân bằng cho thiết bị là dùng các vật đối trọng được điều khiển thông qua bộ điều khiển PID, di chuyển theo hai phương vuông góc nhằm tạo ra mô men hồi phục cho thiết bị. Kết quả mô phỏng bằng Matlab chứng minh khả năng ứng dụng của giải pháp được đề xuất.

Từ khóa: Cân bằng tự động; Thiết bị phá tảng lục bình; Điều khiển PID.

ABSTRACT

The paper proposes a new solution in the design of water hyacinth breaking machine to improve the defect that have already existed in previous studies in Vietnam. Breaking the large blocks is one of important steps in the water hyacinth clearing process. The water hyacinth breaker is in danger of losing its balance mainly due to the cutting force of weed master-cutter head. One of the effective methods to control its balance is using controlled counterweights, move in two perpendicular directions to generate torque to balance the breaker. The simulation results shows the applicability of proposed solution.

Keywords: Automatic balancing; Water hyacinth breaking machine; PID controller.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

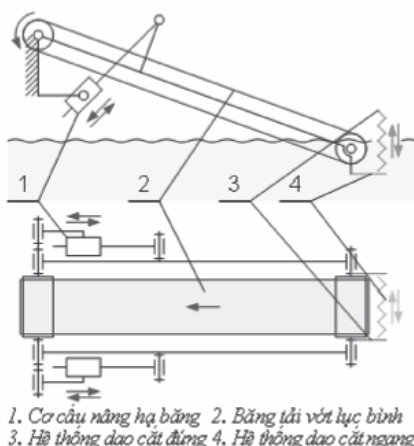
Lục bình là loại thực vật xâm lấn gây nên nhiều tác hại cho môi trường có thể kể đến như: ngăn chặn dòng chảy, cản trở giao thông đường thủy, suy giảm lượng oxy trong nước, ô nhiễm nguồn nước, gây tổn hại đến hệ sinh thái tự nhiên trong các kênh rạch, ao, hồ,...



Hình 1. Tình trạng lục bình hiện nay

Lục bình mọc cao khoảng 30cm, rễ giống như lông vũ dài đến hơn 1m cắm sâu trong bùn lầy, khi phát triển thường kết thành các tầng lớn vững chắc, gây khó khăn cho việc thu gom xử lý [2]. Quy trình thu gom lục bình để khai thông dòng chảy bao gồm hai bước chính: 1. Phá khối lục bình và 2. Vớt lục bình. Các bước còn lại sau khi thu gom sẽ tùy thuộc vào yêu cầu xử lý hoặc sử dụng lục bình.

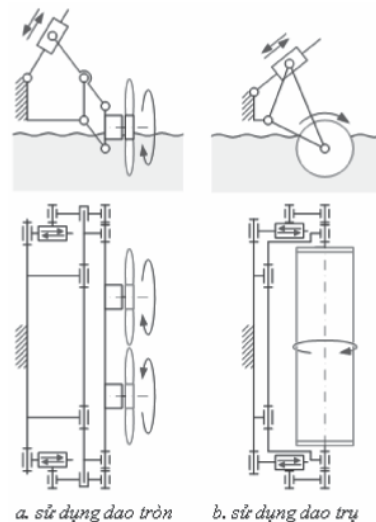
Nhiều đề tài nghiên cứu đã được triển khai để xử lý vấn đề lục bình trên kênh rạch ở Thành phố Hồ Chí Minh và các tỉnh lân cận. Trên các thiết bị thu gom lục bình đã được chế tạo trước đây, để có thể tách tầng lục bình thành từng khối nhỏ, phía trước băng tải vớt được trang bị hai cụm dao cắt đứng và một cụm dao cắt ngang như trên Hình 2.



Hình 2. Dao cắt tích hợp băng tải vớt lục bình

Cách bố trí này được sử dụng phổ biến trên các thiết bị trục vớt rong rêu trong và ngoài nước. Riêng đối với đặc điểm của cây lục bình, thực nghiệm cho thấy việc sử dụng cụm dao cắt răng cưa không phát huy tốt tác dụng so với các loại rong rêu khác. Để khắc phục nhược điểm này, một vài nghiên cứu đã thiết kế thay hai cụm dao cắt đứng bằng cụm dao cắt tròn.

Đối với trường hợp lục bình kết khối thành tảng rất lớn, việc chế tạo thiết bị kết hợp giữa việc cắt khối và trục vớt như trên là không hiệu quả, không thể tách các tầng lục bình thành các khối nhỏ do bị ảnh hưởng của hiện tượng cắt uốn nghiêng cây, cắt trùng và cắt sót [3]. Giải pháp đề xuất ở đây là sử dụng thiết bị phá tầng lục bình di chuyển bám phá trước khi thu gom (xử lý qua hai bước).



Hình 3. Thiết bị phá tầng lục bình kết khối sử dụng dao cắt dạng tròn và dạng trụ

Đối với thiết bị phá tầng lục bình, dao cắt là chi tiết quan trọng nhất ảnh hưởng đến năng suất làm việc. Có hai loại dao cắt thường được sử dụng là dao dạng tròn (Hình 3.a) và dao dạng trụ (Hình 3.b). Biên dạng dao trụ có thể có nhiều dạng khác nhau nhưng có chung một công dụng là cắt/xé nhỏ lục bình kết khối. 

Việc thiết kế dao cắt phải đảm bảo được các yếu tố: 1. Phá được kết khối của lục bình; 2. Lùa được lục bình đã băm phá sang hai bên nhằm tránh cản trở việc di chuyển của thiết bị; 3. Công suất động cơ thấp nhất nhưng hiệu suất cắt là cao nhất có thể.

Trên thực tế, việc sử dụng dao cắt dạng trụ có năng suất cao hơn so với dao cắt dạng tròn khi áp dụng trên thiết bị phá tâng lục bình, một số cấu trúc điển hình của dao trụ có thể thấy trên Hình 4.



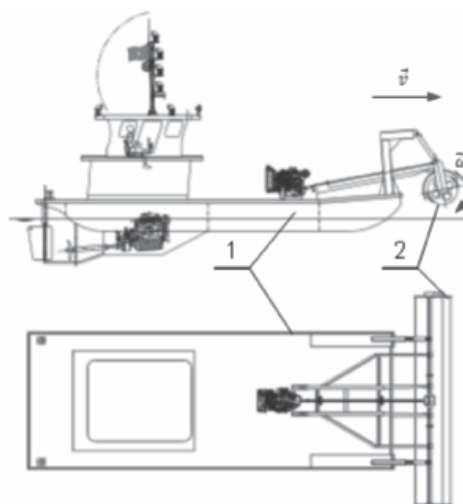
a. Weedmaster-cutterhead $\phi 152 \times 3700$



b. Công ty Nguyễn Hồng $\phi 152 \times 3700$
Hình 4. Dao cắt lục bình dạng trụ

Việc thiết kế dao cắt sẽ được trình bày chi tiết trong một bài báo khác. Bài báo này tập trung phân tích và giải quyết vấn đề mất cân bằng phát sinh do lực cắt từ cụm dao cắt gây nên dao động cho thiết bị và từ các nguyên nhân khác. Trong bài báo [1], nhóm nghiên cứu đã đề xuất giải pháp tự động cân bằng cho thiết bị vớt lục bình. Trong bài báo này, giải pháp được triển khai cho thiết bị phá tâng lục bình.

Thiết bị phá tâng lục bình trong bài báo này dựa trên thiết kế hệ thống xử lý lục bình trên kênh rạch đang được nghiên cứu và triển khai tại DCSELab.



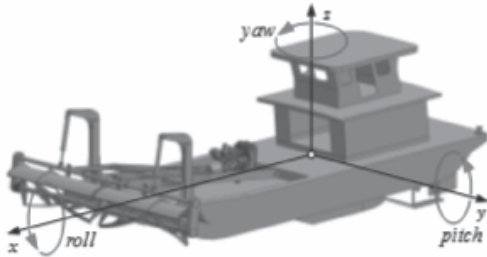
1. Tàu phá tâng lục bình 2. Cụm dao cắt lục bình

Hình 5. Thiết bị phá tâng lục bình sử dụng trong nghiên cứu

Thiết bị có cấu tạo gồm một phao nổi hoạt động linh hoạt trên kênh rạch. Phía trước thiết bị gắn cụm dao băm phá khối/tâng lục bình hoạt động nhờ hệ thống thủy lực được lắp đặt trên khung đỡ chắc chắn. Khi làm việc, người vận hành thiết bị sẽ điều khiển hệ thống thủy lực này để nâng hạ cụm dao cắt sao cho lưỡi dao cắt có thể băm phá lục bình một cách tốt nhất. Cụm dao cắt hoạt động nhờ kết nối thanh cứng truyền động từ động cơ có công suất đủ lớn. Lục bình sau khi băm phá sẽ được thu gom bằng thiết bị vớt lục bình di chuyển theo sau.

Trong quá trình vận hành, lực cắt sinh ra từ cụm dao cắt sẽ làm cho thiết bị bị mất cân bằng và tăng nguy cơ xảy ra nguy hiểm. Trong thực tế, thiết bị cũng có thể sẽ gặp phải những trường hợp mất cân bằng do một số nguyên nhân như: cắt trúng rễ cây cứng, lực tác động lớn đột ngột, rễ lục bình quấn chặt vào dao cắt,

phản lực sinh ra trong quá trình nâng hạ cụm dao cắt,... các trường hợp này sẽ được xem như một dạng nhiễu bất thường vào hệ thống.

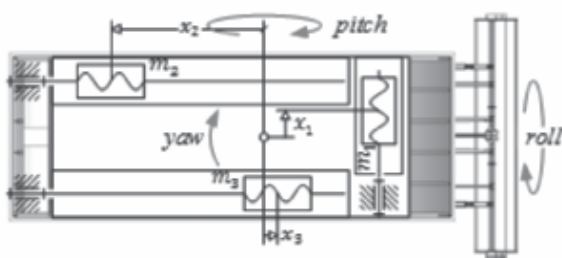


Hình 6. Trường hợp thiết bị mất cân bằng

Theo tiêu chuẩn, thiết bị làm việc trên kênh rạch được phép dao động với biên độ an toàn $\pm 4^\circ$. Trên thực tế, thiết bị phá tảng lực bình có thể bị dao động vượt ngoài giới hạn này trong quá trình băm phá nhưng không được phép vượt ngưỡng an toàn của thiết bị. Để kiểm tra bài toán điều khiển, thành phần nhiễu có thể được ước lượng bằng khoảng 10% tải của thiết bị. Hai loại nhiễu được sử dụng trong nghiên cứu này bao gồm dạng bước và dạng điều hòa.

2. GIẢI PHÁP ĐỀ NGHỊ

Để cân bằng lại mô men gây ra mất cân bằng cho thiết bị, một hệ các đối trọng được bố trí trên boong nhằm tạo ra mô men hồi phục, giúp đưa thiết bị trở lại trạng thái cân bằng nhanh chóng. Sơ đồ nguyên lý của cơ cấu được thể hiện ở Hình 7.



Hình 7. Sơ đồ nguyên lý hệ thống cân bằng

Khối nặng m_1 dùng cân bằng cho góc nghiêng ngang (góc roll), đây là trường hợp thiết bị bị vướng rễ cây vào một bên dao cắt, khối nặng m_2 và khối nặng m_3 dùng cân bằng cho góc chúi (góc pitch), đây là trường hợp thiết bị bị mất cân bằng do lực cắt của cụm dao gây ra chủ yếu. Mô hình hệ cân bằng thiết bị được mô tả như sau:

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

Với, I_p : mô men quán tính của thiết bị theo trục pitch, N/m; I_r : mô men quán tính của thiết bị theo trục roll, N/m; $\ddot{\theta}_p$: đạo hàm cấp 2 góc nghiêng của thiết bị theo trục pitch, $^\circ$; $\ddot{\theta}_r$: đạo hàm cấp 2 góc nghiêng của thiết bị theo trục roll, $^\circ$; 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.

Như đã đề cập, các mô men ngoại lực tác động do việc băm phá lực bình làm thiết bị mất cân bằng được xem như một dạng nhiễu hệ thống, khi đó:

$$\begin{aligned} \ddot{\theta}_p &= \frac{g}{I_p} [(2m_2x_2 - 2m_3x_3)] + d_p \\ \ddot{\theta}_r &= \frac{g}{I_r} m_1x_1 + d_r \end{aligned}$$

Với, d_p : nhiễu theo trục pitch; d_r : nhiễu theo trục roll.

Các khối nặng được điều khiển bởi các bộ điều khiển vị trí PID kinh điển và cho kết quả ở phần kế tiếp.



3. KẾT QUẢ MÔ PHỎNG

Bộ điều khiển cho hệ cân bằng thiết bị được mô phỏng trên Matlab sử dụng mô phỏng rời rạc với thời gian lấy mẫu $\Delta t = 0.01s$. Các thông số kỹ thuật thực tế của thiết bị bám phá lực bình như sau:

Bảng 1. Thông số mô phỏng

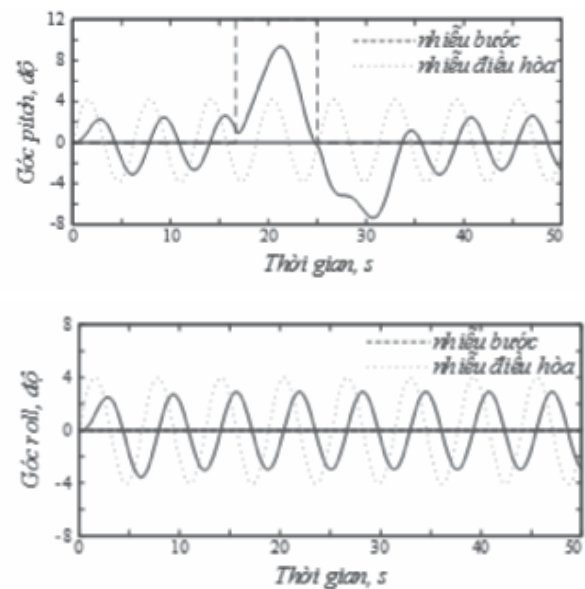
Thông số	Giá trị
Momen quán tính theo trục roll, I_r	840,000
Momen quán tính theo trục pitch, I_p	930,000
Khối lượng đối trọng 1, m_1	500
Khối lượng đối trọng 2, m_2	200
Khối lượng đối trọng 3, m_3	200
Giới hạn góc nhiễu điều hòa	$[-4,4]$
Giới hạn góc nhiễu bước khi tải	$[0,12]$

Các mô phỏng được thực hiện trong trường hợp có tác động của nhiễu ngoại lực và nhiễu điều hòa. 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 điều hòa từ bản thân của thiết bị do các yếu tố ngoại lực khác tác động mà không phải từ lực bình, các đối trọng cân bằng thiết bị và giữ cho thiết bị dao động với biên độ cho phép $< 4^\circ$ theo cả phương roll và phương pitch.

Đối với trường hợp có nhiễu ngoại lực, bài toán mô phỏng cho trường hợp thiết bị chạy không tải trên mặt nước và bắt đầu bám cắt trúng lực bình (kết quả mô phỏng thiết bị bám cắt trúng lực bình vào thời điểm từ giây thứ 15 đến giây thứ 25) khiến thiết bị chịu dao động với biên độ 12° . Trong suốt quá trình này, thiết

bị vẫn chịu tải dao động điều hòa đến từ các yếu tố ngoại lực khiến thiết bị dao động trong biên độ $\pm 4^\circ$.



Hình 7. Đồ thị đáp ứng góc nghiêng – trường hợp có nhiễu bước

Nhận xét:

Trong trường hợp có nhiễu tác động lớn đến từ quá trình bám phá lực bình kết khối, được mô phỏng dưới dạng nhiễu step, hệ thống tuy bị tác động bởi nhiễu khiến đáp ứng góc nghiêng theo phương pitch biến thiên $\sim 10^\circ$ nhưng vẫn cho phép hệ thống bám lấy giá trị mong muốn sau khi kết thúc tác động của nhiễu với biên độ dao động cho phép.

Đối với góc roll, do không có tác động trực tiếp từ nhiễu step từ quá trình bám phá lực bình kết khối mà chỉ bao gồm nhiễu điều hòa đến từ các yếu tố ngoại cảnh như gió và môi trường nước, mô phỏng cho kết quả các góc nghiêng theo phương roll dao động của thiết bị bám phá đạt mức $\sim 2^\circ$, thuộc biên độ dao động cho phép $\pm 4^\circ$, từ đó chứng minh tính ổn định của bộ điều khiển.

4. KẾT LUẬN

Từ nghiên cứu nguyên nhân gây mất cân bằng trên thiết bị phá tảng lục bình đang được triển khai tại DCSELab, bài toán cân bằng tự động cho thiết bị phá tảng lục bình được đề xuất và giải quyết. Với kết quả mô phỏng bằng Matlab đã cho thấy tính khả thi trong việc sử dụng các vật đối trọng được điều khiển thông qua bộ điều khiển PID nhằm tạo ra mô men hồi phục cho thiết bị. 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 Thành phố 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: 16/5/2023

Ngày phản biện: 21/6/2023

Tài liệu tham khảo:

- [1]. Hồ Nhật An và cộng sự; *Thiết kế hệ thống tự động cân bằng cho thiết bị trục vớt lục bình*, Tạp chí Cơ khí Việt Nam, to be defined, 2023.
- [2]. Harvey, K. (2013); *Water hyacinth Control Modules. Control options for water hyacinth (Eichhornia Crassipes) in Australia*. Weeds of National Significance.
- [3]. 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.
- [4]. Nguyễn Minh Cường; *Nghiên cứu động học và xác định các thông số công nghệ của hệ dao*

- cắt ảnh hưởng đến chất lượng cắt-vớt rong, cỏ dại, lục bình*, Luận văn Thạc sỹ, Đại học Bách khoa, 2019.
- [5]. 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 Thành phố Hồ Chí Minh*, Báo cáo Tổng kết Đề tài NCKH, Sở KHCN TP. Hồ Chí Minh, 2016.
- [6]. Hoàng Tử Cường; *Nghiên cứu chế tạo thiết bị thu gom rác nổi*, Báo cáo Nghiệm thu Đề tài NCKH, Sở KHCN TP.HCM, 2006.
- [7]. Aumtab, C., & Wanichanon, T (2022); *Stability and Tracking Control of Nonlinear Rigid-Body Ship Motions*. Journal of Marine Science and Engineering, 10(2), 153.
- [8]. Tang Meng, Guo Jang (2009); *Modelling for Athwartships Trim of ship balance and Actuator with Transferring Liquid Among Tanks*, IEEE Int'l Conf. on Information and Automation.
- [9]. 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.
- [10]. Shenghai Wangm Yqubg Sybm Haiquan Chen & Jialu Du (2017). *Dynamic Modelling and Analysis of 3-Axis Motion Compensated Offshore Cranes*, Ship and Offshore Structure.
- [11]. Georgios M Katsaounis, Gregory Grigoropoulos (2004). *Measuring Procedures for Seakeeping Tests of Large-scaled Ship Models at Sea*, 13th Intl. Symposium on Measurements for Research and Industry Applications.
- [12]. 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.
- [13]. 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.
- [14]. Lui, J., & Wang, X. (2012). *Advanced Sliding Mode Control for Mechanical Systems. Design, Analysis and MATLAB Simulation*.