

TRUYỀN THÔNG MẠNG BIỂN TÀN CHO THIẾT BỊ LÀM HÀNG TÀU BIỂN

ELECTRIC DRIVE WITH NETWORK COMMUNICATION FOR MARINE CRANES

LÊ VĂN TÂM, ĐẶNG ĐÌNH PHÚC*

Khoa Điện - Điện tử, Trường Đại học Hàng hải Việt Nam

*Email liên hệ: phucdd.ddt@vimaru.edu.vn

Tóm tắt

Thương mại hóa vận chuyển thông qua đường thủy ngày càng phát triển với quy mô lớn. Các con tàu được trang bị các hệ thống cần cẩu hiện đại và thân thiện với môi trường. Hệ thống điều khiển cần cẩu được thay thế dần bằng hệ thống điều khiển điện giúp tiết kiệm nhiên liệu. Bài báo này tập trung nghiên cứu thiết kế, chế tạo hệ thống điều khiển cần cẩu ứng dụng mạng truyền thông công nghiệp. Thiết kế, lắp đặt, chạy thử trên hệ thống thật để kiểm nghiệm các thông số điều khiển, thực hiện hiệu chỉnh thông số làm việc nhằm đảm bảo chúng hoạt động đúng tính năng, kỹ thuật, hoạt động an toàn trên môi trường tàu biển. Kết quả nghiên cứu đã được ứng dụng để tiến tới phục vụ nhu cầu nội địa hóa thiết bị làm hàng trong công nghiệp đóng mới và sửa chữa tàu thủy tăng tính tiết kiệm chi phí. Đồng thời, giảm thiểu sự phụ thuộc vào nhà sản xuất, làm chủ dịch vụ kỹ thuật và phục vụ tốt hơn tới thị trường trong nước.

Từ khóa: Hệ thống điều khiển, mạng truyền thông công nghiệp, năng lượng sạch tàu thủy, hệ thống cần cẩu, mô hình hóa.

Abstract

Commercialization of transportation by waterway is increasingly developing on a large scale. Ships are equipped with modern and environmentally friendly crane systems. Crane control systems are gradually replaced by electric control systems to save fuel. This article focuses on the research, design and manufacture of crane control systems using industrial communication networks. Design, install, and test on real systems to test control parameters, and perform calibration of working parameters to ensure that they operate properly in terms of features, techniques, and safety in the marine environment. The research results have been applied to serve the need for

localization of cargo handling equipment in the shipbuilding and repair industry to increase cost savings. At the same time, reduce dependence on manufacturers, master technical services, and better serve the domestic market.

Keywords: Control systems, industrial communication networks, clean Energy Ships, crane Systems, modeling.

1. Đặt vấn đề

Hệ thống cần cẩu là loại thiết bị chủ yếu được sử dụng để bốc dỡ hàng hoá, xử lý nâng hạ các tải trọng nặng trong các ngành công nghiệp khác nhau: Luyện kim, giấy và xi măng. Cần cẩu trên tàu được sử dụng rộng rãi trong nhiều lĩnh vực như vận chuyển hàng hóa, kỹ thuật ngoài khơi và cứu hộ cứu nạn. Đặc biệt, các hệ thống phải chịu được môi trường làm việc khắc nghiệt trên biển và vận hành an toàn hiệu quả. Việc điều khiển cần cẩu trên tàu, đặc biệt là điều khiển chống lắc của tải trọng, đã thu hút nhiều sự chú ý của nghiên cứu do đặc điểm thiếu tác động điển hình và động lực học phức tạp của chúng. Nghiên cứu về truyền thông giữa các hệ thống cần cẩu phải đảm bảo quá trình truyền nhận, giao tiếp không bị ảnh hưởng nhiều và trễ đến tín hiệu. Trên thế giới, các công trình nghiên cứu tập trung vào các hệ thống điều khiển để tăng cường khả năng khai thác và hiệu quả làm việc của các hệ thống. Trong nghiên cứu [1], Guangrui Luan và cộng sự đã thiết lập mô hình động lực học trong một tọa độ không quán tính mới cho hệ thống cần cẩu từ tàu đến tàu. Kết quả bộ điều khiển này đã cho thấy hiệu quả mạnh mẽ so với các bộ điều khiển thông thường hiện nay. Công trình [2], một loạt các cảm biến thu thập dữ liệu trên các vị trí của cần cẩu qua sóng wifi. Qua đó, chứng minh những lợi thế của việc sử dụng công nghệ không dây trong các ứng dụng kỹ thuật hàng hải thông qua một hệ thống không dây dựa trên Wi-Fi được đề xuất dành riêng cho việc giám sát hiệu suất và an toàn trong cần cẩu hàng hải. Bên cạnh đó, một số công trình đã tìm hiểu ứng dụng trí tuệ nhân tạo, Internet of Thing trong điều khiển và thu

thập dữ liệu trên hệ thống cầu và thiết bị hàng hải trên tàu thủy [3, 4].

Các hệ thống làm hàng trên tàu biển và cảng biển Việt Nam thường được chế tạo từ các vi điều khiển, linh kiện điện tử như: Bộ điều khiển hãng MacGREGOR (Thụy Điển), bộ điều khiển hãng TTS (Đức). Môi trường làm việc thường có nồng độ hơi dầu, muối và nhiệt độ thay đổi trong dải rộng, dẫn đến các bộ điều khiển có tuổi thọ ngắn, độ tin cậy thấp. Ngoài ra, các hệ thống có nguồn gốc từ nước ngoài nên sẽ gặp khó khăn về thời gian cung cấp vật tư và đặc biệt là chi phí dịch vụ kỹ thuật có giá thành rất cao.

Trong nước, Ngô Quang Hiếu và cộng sự nghiên cứu một mô hình động của cần cầu container gắn trên tàu chịu tác động của chuyển động của chính tàu do sóng biển ngẫu nhiên truyền mô hình [5]. Bên cạnh đó, nhận tín hiệu điều khiển chuyển động của tời hàng với các dạng tín hiệu điều khiển vào được đánh giá và so sánh với các lệnh vật thể cứng tối ưu về thời gian trên nhiều thông số [4], [6]. Trương Quốc Toàn và cộng sự nghiên cứu điều khiển cho cần cầu 3D [7]. Một điều khiển thích ứng phi tuyến tính của cần trục cầu trục 3D được nghiên cứu. Việc nghiên cứu, chế tạo mới hệ thống điều khiển cần cầu ứng dụng trên tàu biển và các cảng biển Việt Nam sẽ đảm bảo chủ động cung cấp vật tư, làm chủ được dịch vụ kỹ thuật. Ngoài ra, xây dựng các phương pháp truyền thông giữa các hệ thống giúp cho thiết bị hoạt động an toàn và đảm bảo hiệu quả.

Bộ cục bài báo được chia như sau: Phần 2, 3 trình bày cấu trúc hoạt động của biến tần. Xây dựng, chế tạo hệ thống điều khiển và truyền thông và thuật toán điều khiển. Phần 4 thử nghiệm mô hình thực tế và cuối cùng là kết luận trong phần 5.

2. Cấu trúc, hoạt động bộ điều khiển sử dụng biến tần

2.1. Cấu trúc bộ điều khiển

Cấu trúc hệ thống điều khiển sử dụng biến tần hãng MacGREGOR như Hình 1 bao gồm [8]:

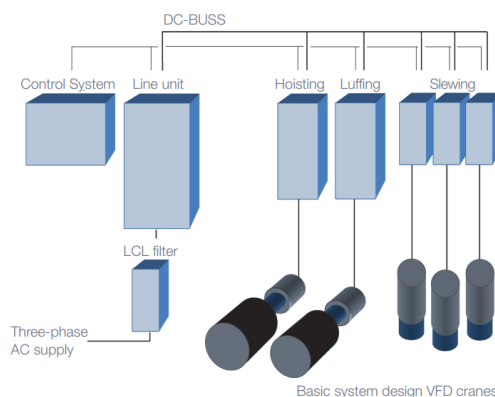
- Bộ điều khiển chính (CC3000) gồm: Module trung tâm giám sát chung, điều khiển cho 3 cơ cấu. Và Bộ điều khiển sẽ điều khiển các bộ nguồn, các biến tần thông qua mạng CAN.
- Tủ lọc nguồn động lực (LCL Filter): Thực hiện lọc nguồn đầu vào cho toàn bộ hệ thống.
- Bộ chỉnh lưu nguồn (Line Unit): Thực hiện chỉnh lưu nguồn xoay chiều thành nguồn một chiều (DC-BUS) cấp nguồn động lực cho các biến tần điều khiển các cơ cấu làm hàng.

- Biến tần cho cơ cấu tời hàng (Hoisting): Thực hiện nghịch lưu nguồn DC - BUS thành nguồn xoay chiều có thay đổi tần số để điều khiển cơ cấu tời hàng.

- Biến tần cho cơ cấu tời cần (Luffing): Thực hiện nghịch lưu nguồn DC - BUS thành nguồn xoay chiều có thay đổi tần số để điều khiển cơ cấu tời cần.

- Biến tần cho cơ cấu quay mâm (Slewing): Thực hiện nghịch lưu nguồn DC - BUS thành nguồn xoay chiều có thay đổi tần số các động cơ để điều khiển các cơ cấu.

- Mạch dầu thủy lực cho nguồn phanh và các tín hiệu ngoại vi.



Hình 1. Cấu trúc cơ bản hệ thống cần cầu sử dụng biến tần hãng MacGREGOR

2.2. Nguyên lý hoạt động

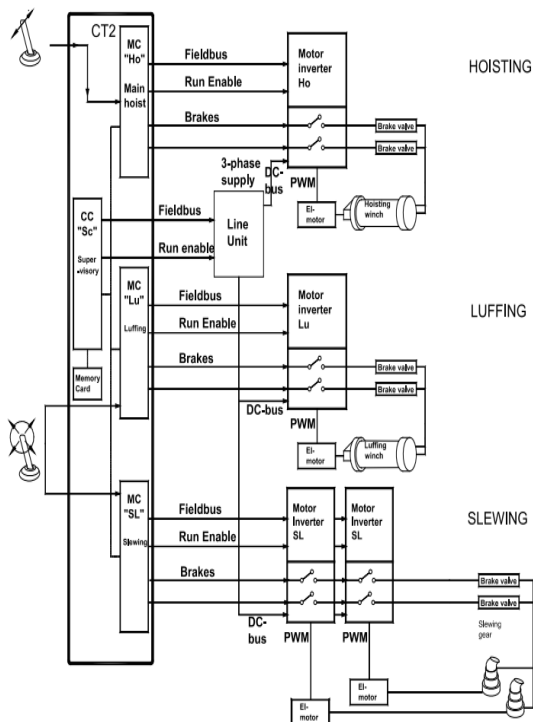
Hệ thống điều khiển hãng MacGREGOR sử dụng biến tần như Hình 2.

- Hệ thủy lực phanh cần cầu: Có nhiệm vụ làm nguồn động lực cho mạch phanh cho các cơ cấu của cần cầu.

- Hệ thống thiết bị làm hàng 3 cơ cấu hoạt động tương đối độc lập, có liên động nhau với một số tham số và có nguyên lý hoạt động tương đương nhau.

Hoạt động của tời hàng diễn ra như sau: Cấp nguồn động lực và hệ thống sẽ sinh nguồn DC-BUS thông qua bộ lọc nguồn LCL Filter và bộ chỉnh lưu nguồn Line Unit. Khi người sử dụng khởi động hệ thống, sẽ cấp nguồn cho mạch điều khiển và các cảm biến ngoại vi, động cơ lai bơm thủy lực nguồn phanh cũng được kích hoạt, Hệ thống sẵn sàng đi vào hoạt động. Khi người vận hành đưa tay đến vị trí hạ hàng, tín hiệu điều khiển gửi tới trung tâm, và tín hiệu được xử lý và điều khiển tương ứng tới biến tần điều khiển động cơ tời hàng với chiều hạ hàng, biến tần điều khiển mở phanh thủy lực, tời sẽ di chuyển theo chiều hạ hàng, tốc độ hạ hàng sẽ tỷ lệ theo vị trí tay điều khiển. Khi bẻ tay về vị trí "ZERO" thì do mất tín

hiệu điều khiển nên cơ cấu sẽ dừng lại và phanh đóng lại để giữ hàng hoá. Chiều hoạt động nâng hàng diễn ra ngược lại. Đối với cấu nâng hạ cần và cơ cấu quay mâm, quá trình điều khiển hoạt động các cơ cấu cũng diễn ra tương tự.



Hình 2. Cấu trúc sử dụng biến tần

Hệ thống cần cầu sử dụng biến tần của hãng MacGREGOR đã hoạt động tốt. Tuy nhiên, trong quá trình khai thác gặp nhiều khó khăn khi cần cài đặt các tham số, đặc biệt giá thành rất cao và chi phí dịch vụ kỹ thuật bảo dưỡng lớn. Vì lý do nêu trên, bài báo đề xuất về việc chế tạo mới hệ thống điều khiển mới sử dụng biến tần ứng dụng mạng truyền thông tàu thủy.

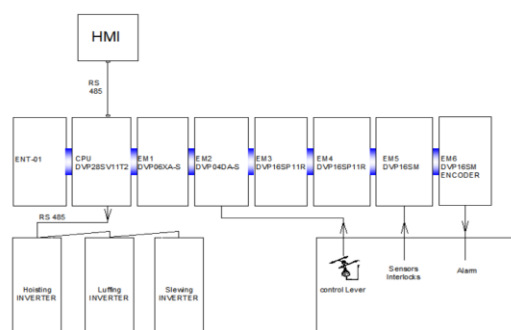
3. Nghiên cứu, chế tạo hệ thống điều khiển sử dụng biến tần

3.1. Cấu trúc điều khiển

Nhóm tác giả đề xuất cấu trúc như Hình 3 [6], [8].

Cấu trúc gồm: Màn hình giám sát được xây dựng các giao diện, cho phép giám sát tất cả các quá trình hoạt động, trạng thái điều khiển của hệ thống trong quá trình khai thác.

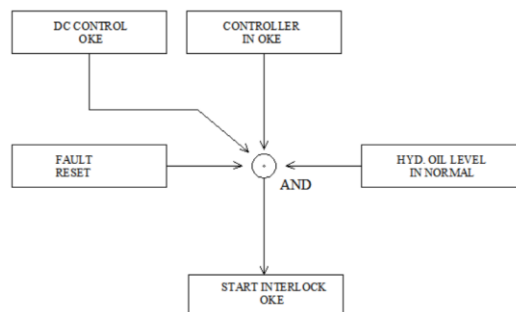
Bộ điều khiển chế tạo mới thu thập tín hiệu ngoại vi, và điều khiển các biến tần điều khiển các động cơ của các cơ cấu cần cầu thông qua mạng biến tần ứng dụng mạng truyền thông công nghiệp với chuẩn truyền thông Modbus RS485 được thể hiện trên Hình 3 [7], [8].



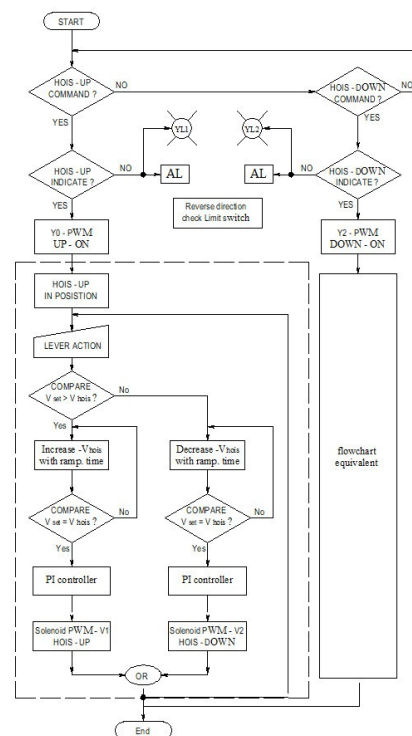
Hình 3. Cấu trúc đề xuất

3.2. Xây dựng thuật toán

Hình 4 trình bày thuật toán liên động khởi động và thuật toán điều khiển tời hàng. Hình 4b được mô tả



a. Thuật toán liên động khởi động hệ thống



b. Thuật toán điều khiển cho tời hàng

Hình 4. Thuật toán điều khiển

ban đầu khởi động thuật toán và kiểm tra lệnh tời và sẵn sàng ở chế độ chờ. Tín hiệu có, hệ thống sẽ tiến hành kiểm tra xem lệnh là HOS - UP hay HOS - DOWN. Hệ thống sẽ kiểm tra xem tín hiệu HOS - DOWN - INDICATE có hoạt động không.

Nếu có, nó sẽ kích hoạt Y2 - PWM - DOWN - ON. Nếu cả chỉ báo lên và xuống đều không hoạt động, báo động (AL) sẽ được kích hoạt, chỉ ra sự cố. Tiếp theo, Logic điều khiển cho chuyển động tời và so sánh vận tốc mong muốn (V) và vận tốc thực tế (V2). Quy trình tiếp tục trong một vòng lặp cho đến khi đáp ứng được điều kiện dừng. Kết thúc thuật toán khi hệ thống ổn định hoặc đạt đến vị trí mong muốn, quy trình kết thúc.

Hình 6 trình bày các giao diện cài đặt các tham số điều khiển cho 3 cơ cấu. Hình 6a được mô tả cài đặt cho tời hàng: Tín hiệu chiết áp của tay điều khiển được

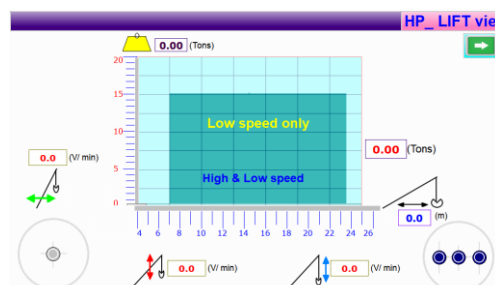
tuyến tính hoá và tự động “ZERO” khi tay điều khiển về vị trí chính giữa, tín hiệu tần số lớn nhất cho biến tần, tín hiệu tần số “CHẠY” an toàn gửi cho biến tần khi tời hàng gặp giới hạn “Limit_RED”, vùng không nhảy của tín hiệu điều khiển. Hình 6b và 6c là mô tả cài đặt tương tự cho cơ cấu tời cần và quay mâm.

3.3. Chế tạo hệ thống cần cầu sử dụng mạng biến tần

Dựa trên cấu trúc phân cứng điều khiển, nhóm tác giả xây dựng các trang giao diện như Hình 5a [9], [10]. Giao diện được thiết kế gồm: Các trang màn hình chính được xây dựng với giao diện giám sát tương đương hãng MacGREGOR. Trạng thái hoạt động, các điều chỉnh các tham số điều khiển đều thực hiện trên đó.

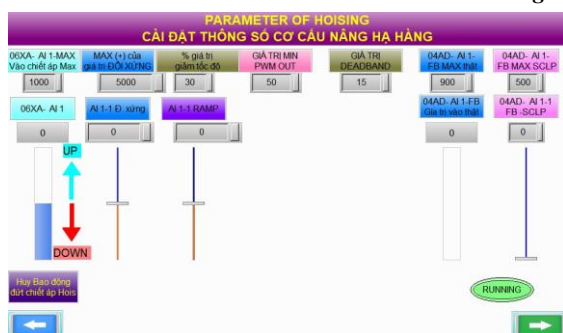


a. Bộ điều khiển trung tâm

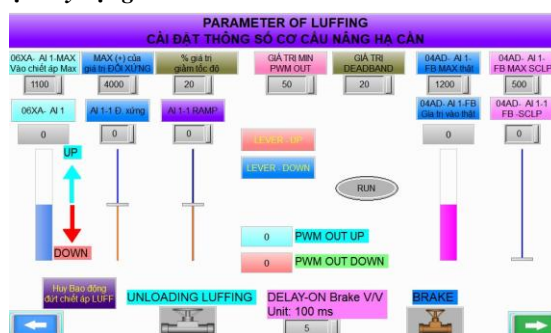


b. Màn hình điều khiển chính

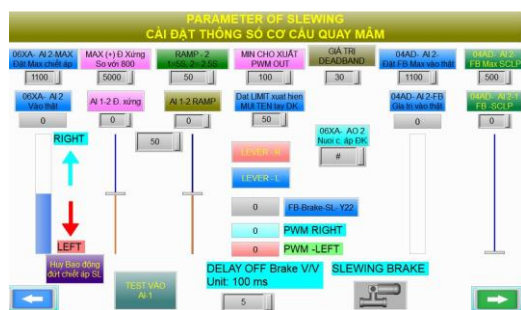
Hình 5. Các giao diện xây dựng



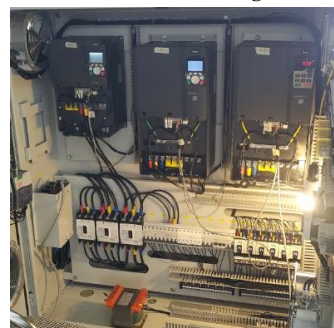
a. Giao diện cơ cấu nâng hạ hàng



b. Giao diện cơ cấu nâng hạ cần



c. Giao diện cơ cấu quay mâm



d. Hệ thống đã chế tạo

Hình 6. Hệ thống đã được chế tạo

Với cấu trúc truyền thông, nhóm tác giả chọn giải pháp thực hiện điều khiển tần số biến tần thông qua mạng Modbus RS485 và lệnh điều khiển thông qua tín hiệu điều khiển trực tiếp vào chân FWD và chân REV của biến tần để điều khiển chiều chuyển động cho các cơ cấu.

4. Sản phẩm thực nghiệm

Sau khi chế tạo mới hệ thống điều khiển làm hàng ứng dụng mạng truyền thông công nghiệp, thực hiện lập trình chương trình điều khiển hệ thống [6], [10], tiến hành chạy thử dựa trên hệ thống cần cầu thực của công ty HP LIFT và thu được kết quả như Hình 6. Hình 5b, 6a, 6b, và 6c là các giao diện cài đặt các tham số cho: Tời hàng, tời cần và quay mâm. Hình 5a, 6d là bộ điều khiển và hệ thống điều khiển chế tạo mới chạy thực nghiệm tại công ty HP LIFT. Thử chức năng nâng hạ tời hàng, chức năng nâng hạ tời cần, chức năng quay mâm. Khi thử chức năng bảo vệ mất áp suất dầu phanh thủy lực thì toàn bộ hệ thống sẽ dừng lại, đồng thời đèn sáng còi kêu, trên giao diện báo động sẽ chỉ rõ tên sự cố xảy ra và người vận hành sẽ nắm được thông tin và đưa ra phương hướng khắc phục. Thử chức năng chùng cáp nâng hạ tời hàng, khi đó tời hàng sẽ không cho phép hạ hàng và người khai thác chỉ có thể điều khiển được tời đi lên để thu cáp chùng. Thử chức năng giảm tốc độ khi đạt gần ngưỡng giới hạn cần bảo vệ, tại thời điểm tác động, cơ cấu sẽ giảm về giá trị tốc độ chậm (giá trị đặt 8Hz) khi khí cơ cấu sẽ chuyển động chậm lại, đảm bảo an toàn cho thiết bị và hàng hoá, nếu tay điều khiển vẫn tiếp tục điều khiển, thì cơ cấu sẽ dừng lại tại ngưỡng giới hạn an toàn [8].

5. Kết luận

Năng lượng xanh ứng dụng ngày càng nhiều trong các thiết bị trong ngành hàng hải và tàu thủy. Do đó, các hệ thống cần cầu ngày càng được cải tiến và thay thế bởi các thiết bị hiện đại. Hệ thống điều khiển chế tạo mới sử dụng biến tần ứng dụng mạng truyền thông công nghiệp, quá trình chạy thử trên hệ thống thật của công ty HP LIFT cho kết quả như sau: Hệ thống hoạt động tốt, chức năng và chất lượng kỹ thuật đảm bảo. Hệ thống cho phép điều khiển thông qua mạng truyền thông các biến tần. Hệ thống cho phép lưu trữ lịch sử nhật ký báo động, cài đặt lại tham số cho các cơ cấu,... Kết quả thực nghiệm trên hệ thống cần cầu của công ty chế tạo cần cầu HP LIFT đáp ứng tiêu chí kỹ thuật và phù hợp với yêu cầu công nghệ đã được Đăng kiểm Việt Nam xác nhận [11]. Như bảng dưới là kết quả thử tải trọng gấp 1,25 lần tải định mức cho cần cầu 30 tấn, với tầm với lớn nhất 25m.

Thứ tự	Lần 1
Sức nâng định mức (tấn)	30.0
Tải tĩnh 1,25*SWL (tấn)	37.5
Tầm với nin (m)	4.0
Tầm với max (m)	25.0
Tốc độ nâng hạ chậm (m/ph)	18.0
Tốc độ nâng hạ nhanh (m/ph)	36.0
Thời gian nâng hạ cần (s)	--
Tốc độ quay mâm (v/ ph)	--
Tốc độ di chuyển (m/ ph)	--
Thời gian thử tải (ph)	15.0
Kết luận	Đạt

Lời cảm ơn

Nghiên cứu này được tài trợ bởi Trường Đại học Hàng hải Việt Nam trong đề tài mã số: **DT24-25.54**.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] G. Luan, P. Liu, M. Zhang, H. Ma, D. Ning, and G. Liu (2025), *Payload transfer and swing suppression via robust tracking control based on disturbance employment for ship to ship crane systems*, Ocean Eng., Vol.323, p.120653.
doi: 10.1016/j.oceaneng.2025.120653
- [2] M. Abotaleb and J. Mindykowski (2024), *Enhancement of Operational Safety in Marine Cargo Cranes on a Container Ship Through the Application of Authenticated Wi-Fi Based Wireless Data Transmission from Multiple Sensors*, Sensors, Vol.24, No.21.
doi: 10.3390/s24216799.
- [3] A. H. Nayfeh, Z. N. Masoud, N. A. Nayfeh, and E (2005). Abdel-rahman, *Control of ship-mounted cranes*, pp.21-22.
- [4] B. R. Hunt and J. Yorke (200), *Control of Shipboard Cranes*, no. January 2014.
doi: 10.1007/978-94-011-4150-5.
- [5] K.-S. Hong and Q. H. Ngo (2012), *Dynamics of the container crane on a mobile harbor*, Ocean Eng., Vol.53, pp.16-24.
doi: 10.1016/j.oceaneng.2012.06.013.
- [6] W. E. Singhose, L. J. Porter, and W. P. Seering (1997), *Input shaped control of a planar gantry crane with hoisting*, in *Proceedings of the 1997*

- American Control Conference (Cat. No.97CH36041)*, Vol.1, pp.97-100.
doi: 10.1109/ACC.1997.611762.
- [7] Q. C. Nguyen, H. Q. T. Ngo, and W. Kim (2015), *Nonlinear Adaptive Control of a 3D Overhead Crane*. Published in: 2015 15th International Conference on Control, Automation and Systems (ICCAS).
doi: 10.1109/ICCAS.2015.7364876.
- [8] Tài liệu kỹ thuật cần cầu của hãng MacGREGOR.
- [9] Đinh Anh Tuấn, Phan Đăng Đào (2017), *Hệ thống điều khiển giám sát và thu thập dữ liệu SCADA*, NXB Hàng hải, Hải Phòng.
- [10] Tài liệu kỹ thuật - Hãng Delta.
- [11] Thông tư 20/2022/TT - BGTVT.

Ngày nhận bài:	17/03/2025
Ngày nhận bản sửa:	05/04/2025
Ngày duyệt đăng:	05/04/2025