

ISSN 1859-316X



TẠP CHÍ

KHOA HỌC CÔNG NGHỆ HÀNG HẢI

JOURNAL OF MARINE SCIENCE AND TECHNOLOGY

Số 73 - 01/2023



Chúc Mừng Năm Mới

Happy New Year 2023

TRƯỜNG ĐẠI HỌC HÀNG HẢI VIỆT NAM
VIETNAM MARITIME UNIVERSITY



**TẠP CHÍ KHOA HỌC
CÔNG NGHỆ HÀNG HẢI**
JOURNAL OF MARINE SCIENCE
AND TECHNOLOGY
ISSN 1859 - 316X

SỐ 73
01/2023

• TỔNG BIÊN TẬP:

PGS.TS. Nguyễn Thanh Sơn

• PHÓ TỔNG BIÊN TẬP:

ThS. Lê Kim Hoàn

• HỘI ĐỒNG BIÊN TẬP:

PGS.TS. Phạm Xuân Dương

PGS.TS. Nguyễn Khắc Khiêm

PGS.TS. Nguyễn Minh Đức

PGS.TS. Nguyễn Mạnh Cường

PGS.TS. Lê Văn Điềm

PGS.TS. Đào Ngọc Biên

PGS.TS. Đỗ Quang Khải

PGS.TS. Đào Văn Tuấn

PGS.TS. Trần Anh Dũng

TS. Phạm Văn Minh

PGS.TS. Đặng Công Xường

TS. Mai Khắc Thành

TS. Nguyễn Hữu Tuấn

PGS.TS. Nguyễn Kim Phương

PGS.TS. Trần Văn Lượng

TS. Trần Thế Nam

THƯ KÝ TẠP CHÍ

ThS. Nguyễn Trung Kiên

TÒA SOẠN

P. 206B - Nhà A1

Trường Đại học Hàng hải Việt Nam

484 Lạch Tray - Hải Phòng

Email: jmst@vimaru.edu.vn

Giấy phép xuất bản số
1350/GP-BTTTT cấp ngày 30/07/2012

TRONG SỐ NÀY**KHOA HỌC - CÔNG NGHỆ**

- 1** **NGHIÊN CỨU MÔ PHỎNG 3D QUÁ TRÌNH CHUYỂN ĐỘNG CỦA MÀNG DẦU TRÊN BIỂN DỰA TRÊN THUẬT TOÁN TẠO LƯỚI ĐA GIÁC TỪ MỘT BỀ MẶT ĐẲNG THỂ**
RESEARCH ON 3D SIMULATION OF THE OIL FILM TRANSPORTATION AT SEA BASED ON POLYGON MESH GENERATION ALGORITHM BY AN ISO-SURFACE
ĐỖ VĂN CƯỜNG¹, TRẦN GIA NINH¹, ĐỖ TRUNG KIÊN²
¹Khoa Hàng hải, Trường Đại học Hàng hải Việt Nam
²Phòng Quan hệ Quốc tế, Trường Đại học Hàng hải Việt Nam
*Email liên hệ: dovancuong@vimaru.edu.vn 7
- 2** **NGHIÊN CỨU MÔ PHỎNG DÒNG CHẢY BAO QUANH THÂN TÀU TRÊN NƯỚC TÍNH BẰNG PHƯƠNG PHÁP CFD**
NUMERICAL SIMULATION FLOW AROUND THE SHIP IN CALM WATER CONDITION BY CFD METHOD
TRẦN NGỌC TÚ*, PHẠM THỊ THANH HẢI, NGUYỄN MẠNH CHIẾN
Khoa Đóng tàu, Trường Đại học Hàng hải Việt Nam
*Email liên hệ: tutn.dt@vimaru.edu.vn 13
- 3** **NGHIÊN CỨU SỬ DỤNG ỐNG CÓ CÁNH ĐỂ NÂNG CAO KHẢ NĂNG LƯU TRỮ NHIỆT CỦA ẮC QUY NHIỆT BẰNG PHƯƠNG PHÁP SỐ**
NUMERICAL STUDY ON USING FINNED TUBE TO IMPROVE THE HEAT STORAGE CAPACITY OF THERMAL BATTERY
DƯƠNG XUÂN QUANG¹, TRẦN THẾ NAM²
¹Viện Cơ khí, Trường Đại học Hàng hải Việt Nam
²Phòng Khoa học - Công nghệ, Trường Đại học Hàng hải Việt Nam
*Email liên hệ: duongxuanquang@vimaru.edu.vn 19
- 4** **TÍNH TOÁN DAO ĐỘNG CỦA MÔ HÌNH Ô TÔ CÓ XÉT ĐẾN PHẦN TỬ ĐÀN NHÓT CẤP PHẦN SỐ**
CALCULATE VIBRATION OF CAR MODEL IN WHICH VISCOELASTIC MATERIAL CONTAIN FRACTIONAL ORDER DERIVATIVES
NGUYỄN ĐÌNH KHIÊM, HOÀNG MẠNH CƯỜNG*
Viện Cơ khí, Trường Đại học Hàng hải Việt Nam
*Email liên hệ: cuonghm@vimaru.edu.vn 23
- 5** **ẢNH HƯỞNG CỦA TIẾT PHA HÓA BỀN TRONG HỢP KIM ĐỒNG LÀM TĂNG CƯỜNG CHẤT LƯỢNG BỀ MẶT CÁNH BƠM GIẢM TÁC ĐỘNG CỦA HIỆN TƯỢNG XÂM THỰC**
EFFECT OF PRECIPITATION STRENGTHENING IN COPPER ALLOYS ON IMPROVING IMPELLER SURFACE QUALITY TO REDUCES THE IMPACT OF CAVITATION
VŨ ANH TUẤN*, NGUYỄN HẢI YẾN
Khoa Cơ sở - Cơ bản, Trường Đại học Hàng hải Việt Nam
*Email liên hệ: anhtuan.cscb@vimaru.edu.vn 28
- 6** **TỔ CHỨC, ĐỘ CỨNG VÀ ĐỘ DAI VA ĐẬP CỦA VẬT LIỆU COMPOSITE AZ91/SIC ỨNG DỤNG TRONG CHI TIẾT KẾT CẤU Ô TÔ**
MICROSTRUCTURES, HARDNESS AND IMPACT TOUGHNESS OF COMPOSITE AZ91/SIC IN AUTOMOTIVE STRUCTURAL APPLICATIONS
VŨ VIỆT QUYÊN
Viện Cơ khí, Trường Đại học Hàng hải Việt Nam
Email liên hệ: quyenvv.cndt@vimaru.edu.vn 35
- 7** **NGHIÊN CỨU SỰ HÌNH THÀNH TỔ CHỨC TRONG MỐI HÀN THÉP CHỊU NHIỆT P22 VÀ P91**
INVESTIGATION THE MICROSTRUCTURE OF HEAT RESISTANT P22 AND P91 WELDS
LÊ THỊ NHUNG
Viện Cơ khí, Trường Đại học Hàng hải Việt Nam
Email liên hệ: nhunglt.vck@vimaru.edu.vn 40

-
- 8** **LỰA CHỌN CHIỀU CAO ĐÁP ỨNG HIỆU QUẢ TIÊU TÁN SÓNG ĐƠN CỦA ĐÊ CHẮN SÓNG TƯỜNG ĐỨNG KẾT CẤU RỘNG**
DETERMINATION OF VERTICAL POROUS BREAKWATER HEIGHT ADAPTING DISSIPATION EFFICIENCY FOR SOLITARY WAVES 47
PHẠM VĂN KHÔI
Khoa Công trình, Trường Đại học Hàng hải Việt Nam
Email liên hệ: khoipv.ctt@vamaru.edu.vn
-
- 9** **CƯỜNG ĐỘ VÀ SỨC KHÁNG CHLORIDE XÂM NHẬP CỦA BÊ TÔNG SỬ DỤNG POZZOLAN TỰ NHIÊN VÀ BỘT ĐÁ VỎI**
THE COMPRESSIVE STRENGTH AND CHLORIDE RESISTANCE OF CONCRETE CONTAINING NATURAL POZZOLAN AND LIMESTONE POWDER 52
PHẠM VĂN TOÀN*, PHẠM THỊ LY
Khoa Công trình, Trường Đại học Hàng hải Việt Nam
**Email liên hệ: toanpv@vamaru.edu.vn*
-
- KINH TẾ - XÃ HỘI**
-
- 10** **ỨNG DỤNG BI HỖ TRỢ QUẢN LÝ VẬN HÀNH HỆ THỐNG ĐÈN BIỂN THEO THÔNG TƯ SỐ 38/2021/TT-BGTVT**
APPLICATION OF BI IN MANAGING THE LIGHTHOUSE SYSTEM'S OPERATION AS PRESCRIBED IN CIRCULAR NO. 38/2021/TT-BGTVT 58
TRẦN ĐỨC PHÚ
Khoa Công trình, Trường Đại học Hàng hải Việt Nam
Email liên hệ: phutd.ctt@vamaru.edu.vn
-
- 11** **ĐỀ XUẤT PHƯƠNG PHÁP DẪN TÀU AN TOÀN QUA NHỮNG KHU VỰC TIỀM ẨN NHIỀU NGUY CƠ TAI NẠN TRÊN TUYẾN LUỒNG HÀNG HẢI HẢI PHÒNG**
RECOMMENDED METHODS FOR SAFE NAVIGATION THROUGH THE HIGH RISK AREAS OF MARINE ACCIDENTS ON THE HAI PHONG NAVIGATION CHANNEL 63
TRỊNH XUÂN TÙNG
Viện Đào tạo Chất lượng cao, Trường Đại học Hàng hải Việt Nam
Email liên hệ: trinxuantung@vamaru.edu.vn
-
- 12** **PHÂN TÍCH SO SÁNH HIỆU QUẢ KHAI THÁC CỦA CÁC BẾN CẢNG CONTAINER KHU VỰC CẢNG BIỂN HẢI PHÒNG GIAI ĐOẠN 2016-2022**
COMPARATIVE ANALYSIS ON OPERATIONAL EFFICIENCY OF CONTAINER TERMINALS IN HAIPHONG PORT FROM 2016 TO 2022 72
LÊ MẠNH HƯNG¹, NGUYỄN HỒNG VÂN²
¹*Khoa Kinh tế, Trường Đại học Hàng hải Việt Nam*
²*Phòng Quan hệ Quốc tế, Trường Đại học Hàng hải Việt Nam*
**Email liên hệ: hunglm.kt@vamaru.edu.vn*
-
- 13** **NGHIÊN CỨU THỰC TRẠNG CHUYỂN ĐỔI SỐ Ở CÁC DOANH NGHIỆP VẬN TẢI BIỂN**
STUDY ON THE STATUS OF DIGITAL TRANSFORMATION IN SHIPPING COMPANIES 79
NGUYỄN MẠNH CƯỜNG, PHAN VĂN HƯNG*
Khoa Hàng hải, Trường Đại học Hàng hải Việt Nam
**Email liên hệ: phanvanhung@vamaru.edu.vn*
-
- 14** **TRIỂN VỌNG VÀ TÍNH KINH TẾ CỦA HỆ THỐNG TUA-BIN ĐIỆN GIÓ NỔI NGOÀI KHƠI**
PROSPECTS AND ECONOMICS OF FLOATING OFFSHORE WIND TURBINE SYSTEMS 86
PHẠM THỊ QUỲNH MAI*, NGUYỄN ĐẠI DƯƠNG
Khoa Kinh tế, Trường Đại học Hàng hải Việt Nam
**Email liên hệ: mai.kt@vamaru.edu.vn*
-

- 15** **HỆ THỐNG ỦI LẠNH - GIẢI PHÁP QUAN TRỌNG TRONG VIỆC KIỂM SOÁT LƯỢNG KHÍ THẢI TẠI CÁC CẢNG BIỂN, VÀ PHÁT TRIỂN CẢNG XANH TẠI VIỆT NAM**
COLD IRONING - AN IMPORTANT SOLUTION IN CONTROL OF EMISSIONS AT SEAPORTS AND GREEN PORT DEVELOPMENT IN VIETNAM 93
- LÊ SƠN TÙNG**
Khoa Kinh tế, Trường Đại học Hàng hải Việt Nam
Email liên hệ: lesontung@vamaru.edu.vn
-
- 16** **MỘT NGHIÊN CỨU VỀ CHẾ ĐỘ TRÁCH NHIỆM PHÁP LÝ ĐỐI VỚI THIẾT HẠI Ô NHIỄM DẦU TRÊN BIỂN: SỰ CỐ NỔ GIÀN KHOAN DẦU DEEPWATER HORIZON**
A STUDY OF CIVIL LIABILITY FOR OIL POLLUTION DAMAGE: THE DEEPWATER HORIZON OIL RIG EXPLOSION INCIDENT 99
- PHẠM VĂN TÂN**
Trung tâm Huấn luyện thuyền viên, Trường Đại học Hàng hải Việt Nam
Email liên hệ: phamvantan@vamaru.edu.vn
-

THƯ CHÚC TẾT

Kính gửi toàn thể các cán bộ, giảng viên của Nhà trường, các nhà khoa học, các cộng tác viên và quý độc giả!

Nhân dịp năm mới 2023 và Tết cổ truyền Quý Mão, thay mặt Tập thể lãnh đạo Trường Đại học Hàng hải Việt Nam và Hội đồng biên tập Tạp chí Khoa học Công nghệ Hàng hải, tôi trân trọng kính gửi tới toàn thể cán bộ, giảng viên của Nhà trường, các nhà khoa học, các cộng tác viên, quý độc giả cùng gia đình lời chúc mừng năm mới tốt đẹp nhất.

Năm 2022, năm bắt đầu phục hồi kinh tế sau đại dịch Covid-19, cũng là năm đánh dấu 66 năm xây dựng và phát triển, Trường Đại học Hàng hải Việt Nam tiếp tục có những đổi mới về quản lý, cơ chế hoạt động, đáp ứng yêu cầu chuyển đổi số trong hoạt động quản lý hành chính, xây dựng các chính sách thu hút các nhà khoa học có trình độ cao, hình thành các nhóm nghiên cứu mạnh và đẩy mạnh các hoạt động đổi mới sáng tạo. Tập thể lãnh đạo Trường và cán bộ, giảng viên, các nhà khoa học của Trường luôn coi công tác nghiên cứu khoa học, chuyển giao công nghệ là công tác then chốt, là động lực phát triển của Nhà trường trong giai đoạn tự chủ và hội nhập. Ngày 23/11/2022, Nghị quyết 30-NQ/TW của Bộ Chính trị về việc phát triển kinh tế - xã hội đảm bảo quốc phòng, an ninh vùng đồng bằng Sông Hồng đến năm 2030, tầm nhìn đến năm 2045, trong đó đã nêu rõ **“xây dựng Trường Đại học Hàng hải Việt Nam là Trường trọng điểm quốc gia, nghiên cứu, đào tạo phục vụ phát triển bền vững kinh tế biển”**. Đây vừa là vinh dự, nhưng đồng thời là nhiệm vụ hết sức nặng nề trong giai đoạn phát triển sắp tới, nhưng tôi tin tưởng chắc chắn rằng toàn thể cán bộ, giảng viên và sinh viên Nhà trường với triết lý phát triển **“trí tuệ - sáng tạo - trách nhiệm - nhân văn”** và tinh thần quyết tâm sẽ nắm bắt thành công thời cơ, vận hội mới này.

Bước sang năm 2023, Tạp chí khoa học Công nghệ Hàng hải bắt đầu triển khai xây dựng hệ thống Tạp chí điện tử đáp ứng nhu cầu chuyển đổi số, đồng thời cũng là cơ sở để khẳng định sự phát triển của Tạp chí Khoa học Công nghệ Hàng hải cả về nội dung, chất lượng các bài báo công bố và định hướng là Tạp chí khoa học có uy tín trong ngành. Thay mặt cho Tập thể lãnh đạo Trường và Hội đồng biên tập Tạp chí, tôi kêu gọi toàn thể cán bộ, giảng viên, nhà khoa học của Nhà trường tích cực thi đua và đạt nhiều thành tích trong công tác nói chung, trong hoạt động khoa học công nghệ nói riêng, đặc biệt trong các lĩnh vực điện, điện tử, cơ khí, đóng tàu, xây dựng, quản lý, khai thác cảng biển, logistics,...

Mừng xuân mới với tất cả tình cảm quý mến và trân trọng, tôi thân ái gửi đến các cán bộ, giảng viên của Nhà trường, các nhà khoa học, các cộng tác viên, các quý vị độc giả và gia đình một năm mới sức khỏe, an lành, hạnh phúc và thành công!

HIỆU TRƯỞNG

PGS.TS. Phạm Xuân Dương

KHOA HỌC - CÔNG NGHỆ

NGHIÊN CỨU MÔ PHỎNG 3D QUÁ TRÌNH CHUYỂN ĐỘNG CỦA MÀNG DẦU TRÊN BIỂN DỰA TRÊN THUẬT TOÁN TẠO LƯỚI ĐA GIÁC TỪ MỘT BỀ MẶT ĐẲNG THỂ

RESEARCH ON 3D SIMULATION OF THE OIL FILM TRANSPORTATION AT SEA BASED ON POLYGON MESH GENERATION ALGORITHM BY AN ISO-SURFACE

ĐỖ VĂN CƯỜNG*¹, TRẦN GIA NINH¹, ĐỖ TRUNG KIÊN²

¹Khoa Hàng hải, Trường Đại học Hàng hải Việt Nam

²Phòng Quan hệ Quốc tế, Trường Đại học Hàng hải Việt Nam

*Email liên hệ: dovancuong@vamaru.edu.vn

Tóm tắt

Có hai phương pháp thực hiện kết xuất hình dạng của chất lỏng: Phương pháp hình học và phương pháp vật lý. Phương pháp hình học cho kết quả tính toán nhanh và yêu cầu phần cứng máy tính không cao. Phương pháp vật lý có thể mô phỏng một cách chính xác và tỉ mỉ chuyển động của chất lỏng nhưng lại đòi hỏi cấu hình phần cứng khá cao và khối lượng tính toán lớn. Trong bài báo này, nhóm tác giả đã áp dụng thuật toán hình học tạo lưới đa giác từ một giá trị đẳng thể để tái tạo và kết xuất chuyển động của màng dầu trên biển. Đây là nghiên cứu đầu tiên ở trong nước và trên thế giới áp dụng thuật toán Marching Square vào mô phỏng màng dầu trên biển. Ưu điểm của phương pháp này là có thể mô phỏng một thể tích lớn dầu tràn trên biển với tốc độ nhanh, khối lượng tính toán ít mà vẫn đảm bảo yếu tố thời gian thực (real-time).

Từ khóa: Chất lỏng, lưới đa giác, tràn dầu, thời gian thực.

Abstract

There are two methods to render fluid: The geometric method and the physical method. The advantage of the geometric method is fast calculation results and not very high of hardware requirements. On the other hand, the physical method can be proposed an accurately and meticulously method to simulate the movement of oil film at sea but require of higher computer hardware and computation at the same oil spill volume. In this paper, the authors have applied a geometric algorithm to generate a polygon mesh from an iso-value to render and simulate the

motion of the oil film at sea. This is the first study to apply Marching Square algorithm to simulate oil film in Vietnam and in the world. The algorithm can be able to simulate a large volume of oil spilled at a fast speed, reduce the computation but still satisfy the real-time factors.

Keywords: Fluid, polygon mesh, oil spill, real-time.

1. Giới thiệu

Dầu bản chất cũng là một loại chất lưu được đặc trưng bởi độ nhớt, nhiệt độ, sức căng bề mặt, áp suất,... Trong lĩnh vực đồ họa máy tính, việc mô phỏng chất lưu có rất nhiều ứng dụng. Một chương trình mô phỏng chất lưu tốt sẽ có tầm quan trọng trong rất nhiều lĩnh vực như mô phỏng chính xác chuyển động của đám khói, lửa, nước và dầu để ứng dụng trong các ngành giải trí, phim ảnh, đào tạo, huấn luyện và trong các ngành khoa học, kỹ thuật khác. Động lực học chất lưu đóng vai trò là nền tảng tiêu chuẩn của các phương trình toán học để mô phỏng chất lưu như ngày nay.

Ngày nay, với sự phát triển của khoa học công nghệ trong đó có ngành công nghệ thông tin, việc mô phỏng chất lỏng đã không còn là vấn đề quá khó khăn và phức tạp. Tuy nhiên, ở một góc độ nào đó thì quá trình mô phỏng vẫn chỉ là sự tiệm cận với môi trường thật ngoài tự nhiên mà thôi. Đó là do sự hạn chế của phần cứng máy tính mà cụ thể là CPU (Central Processing Unit) và GPU (Graphics Processing Unit) cũng không thể nào đáp ứng được hết tất cả các yêu cầu của hàng tỷ phép tính trong mô phỏng động lực học chất lưu.

Trong cách tiếp cận việc kết xuất chất lỏng, có hai phương pháp được sử dụng là phương pháp hình học và phương pháp vật lý. Phương pháp mô phỏng hình

học dựa trên nguyên lý xây dựng lưới đa giác (tam giác hoặc tứ giác) để kết nối các phần tử rời rạc lại với nhau, sau đó sử dụng sức mạnh của GPU để tính toán màu sắc, độ tương phản, ánh sáng nhằm kết xuất đưa ra hiển thị trên màn hình máy tính. M. Muller và cộng sự [1] đã sử dụng phương pháp lưới không gian màn hình (Screen Space Mesh) để mô phỏng nước. Ông sử dụng thuật toán Marching Square tạo lưới 2D, sau đó làm mịn bề mặt đa giác và kết xuất hình ảnh ra màn hình. S. Almeida và cộng sự [2] đã mở rộng lưới không gian màn hình cho phương pháp SPH (Smoothed Particle Hydrodynamics) dựa trên ngôn ngữ Shader Labs để kết xuất ra màn hình. Phương pháp mô phỏng vật lý không xây dựng lưới hình học mà dựa trên phương trình Navier-Stokes (N-S) để mô phỏng trực tiếp quá trình chuyển động của chất lỏng, phương trình này được đặt tên theo Claude-Louis Navier và George Gabriel Stokes. Đây là phương trình dùng để mô phỏng chuyển động của các dòng chảy chất lưu không nén được trong tự nhiên bằng cách xây dựng một trường vector, trong đó mỗi một chất điểm được đặc trưng bởi một đại lượng vector có hướng biểu thị cho vận tốc, nhiệt độ, áp suất của chất lưu. Từ sơ đồ hướng chuyển động của vector, người ta sẽ xây dựng được luồng dịch chuyển của chất lưu. J. Stam [3] đã sử dụng mô hình vật lý dựa trên phương trình N-S để mô phỏng chuyển động của chất lưu ổn định, tuy nhiên kết quả mô phỏng cho thấy sự chuyển động của dòng chảy giảm đi khá nhanh so với thực tế. K. Kakuda và cộng sự [4] sử dụng công nghệ GPGPU (General Purpose Computing on Graphics Processing Units) bằng CUDA (Compute Unified Device Architecture) để giải quyết phương trình N-S mô phỏng dòng chảy của chất lỏng, điều này cũng tăng đáng kể hiệu suất của quá trình tính toán.

Trong bài báo này, nhóm tác giả sẽ xây dựng mô hình mô phỏng 3D quá trình chuyển động của màng dầu trên biển dựa trên thuật toán Marching Square trong không gian 2 chiều bằng phần mềm Unity. Do chương trình được áp dụng trong hệ thống mô phỏng ứng phó sự cố tràn dầu trên biển nên có đặc điểm là cần cho kết quả nhanh, ít dữ liệu đầu vào, chính vì vậy chỉ khảo sát 2 quá trình lan rộng và trôi nổi của màng dầu là hoàn toàn phù hợp. Phương pháp này cho ra kết quả nhanh, không cần nhiều dữ liệu đầu vào và có thể mô phỏng diện tích lớn của màng dầu trên biển mà vẫn đảm bảo yếu tố thời gian thực. Ngoài ra nó cũng biểu diễn được quá trình phân tách màng dầu thành những phần nhỏ hơn một cách dễ dàng, điều mà các nghiên cứu trước đây chưa xây dựng được.

2. Mô hình thuật toán biểu diễn sự lan truyền cơ học của màng dầu trên biển

2.1. Mô hình thuật toán biểu diễn quá trình lan rộng của màng dầu

Từ những năm 60 của thế kỷ 20, Fay [5] đã đưa ra các tính toán của mình cho hình dạng vệt dầu loang trên biển, ông coi nó chỉ đơn thuần là một hình tròn có bán kính r mở rộng về diện tích. Vào năm 1984, trong một nghiên cứu thực nghiệm tràn dầu tại vùng biển Ả-Rập, Lehr [6] đã chỉ ra rằng kết quả nghiên cứu tràn dầu của Fay là chưa chính xác và khó thực hiện trong thực tế, vì không tính đến ảnh hưởng của môi trường tới sự lan tràn dầu. Bằng các thử nghiệm thực tế, Lehr đã đưa ra được công thức toán học tính toán sự giãn nở diện tích màng dầu trên biển có tính đến ảnh hưởng của gió và dòng chảy, khi đó màng dầu có dạng gần giống hình Elip với bán trục lớn và bán trục nhỏ. Tuy nhiên, diện tích của màng dầu chỉ đạt đến một giới hạn nhất định thì sẽ không tăng lên mà chuyển sang các giai đoạn tiếp theo như phân tán, kết tủa và biến đổi vật lý khác. Lý thuyết của Lehr được minh họa qua công thức (1) và (2):

$$A = 2270 \left[\frac{\Delta\rho}{\rho_0} \right]^{\frac{2}{3}} v^{\frac{2}{3}} t^{\frac{1}{2}} + 40 \left[\frac{\Delta\rho}{\rho_0} \right]^{\frac{1}{3}} v^{\frac{1}{3}} W^{\frac{4}{3}} t \quad (1)$$

$$A_{\max} = 10^5 \frac{3}{V^{\frac{4}{3}}} \quad (2)$$

Với, A là diện tích màng dầu (m^2); A_{\max} là diện tích lớn nhất màng dầu (m^2); V là thể tích dầu bị tràn ($barrel$); W là tốc độ gió ($knot$); t là thời gian ($phút$); ρ_0 là tỷ trọng dầu; $\Delta\rho$ là biến thiên tỷ trọng nước biển-dầu; Q là bán trục nhỏ; R là bán trục lớn.

2.2. Mô hình thuật toán biểu diễn quá trình trôi dạt của màng dầu

Để cụ thể hóa các khẳng định của Lehr, M. Fingas [7] đã đưa ra được công thức thực nghiệm thể hiện sự phụ thuộc của hướng dịch chuyển màng dầu trên biển vào gió và dòng chảy. Sự trôi dạt của màng dầu được tính toán dựa trên tính toán chuyển động của từng hạt dầu riêng biệt. Tốc độ di chuyển của hạt dầu thứ i bất kỳ được xác định bởi đạo hàm của trục X theo thời gian t :

$$\frac{dX_i}{dt} = V_{drift}(x_i, y_i, t) + V_{diff}(x_i, y_i, t) \quad (3)$$

Với, $X_i(x_i, y_i)$ là vị trí của hạt thứ i ; V_{diff} là tốc độ phân tán; t là thời gian (s).

$$V_{drift}(x_i, y_i) = a_w V_w(x_i, y_i) + a_c V_c(x_i, y_i) \quad (4)$$

Với, V_w là tốc độ gió tại 10m trên mặt nước biển; V_c là tốc độ dòng chảy; $a_w = 0,03$ là hệ số gió; $a_c = 1,0$ là hệ số dòng chảy:

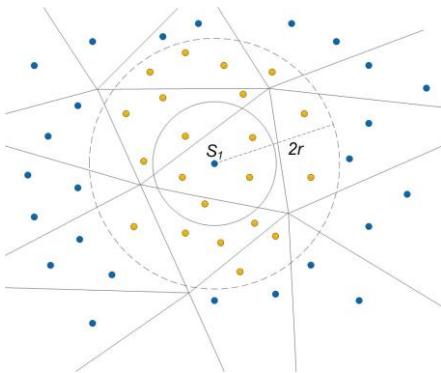
$$V_{diff}(x_i, y_i) = V_{drift} R_n e^{i\alpha_n} \quad (5)$$

Với, $R_n [-1, 1]$ là hệ số; $\alpha_n [0, \pi]$ là góc lệch; V_{drift} là vận tốc đạt.

3. Ứng dụng thuật toán đĩa Poisson biểu diễn tập hữu hạn các hạt dầu trên biển

Thuật toán phân chia điểm Poisson được nhắc đến lần đầu tiên vào năm 1960 để thực hiện phân bố cây trong rừng. Trong đồ họa máy tính, thuật toán này dùng để kết xuất hình ảnh, tạo hình và xử lý hình học cho đối tượng. Nguyên lý hoạt động của thuật toán là vẽ đối tượng trong không gian n chiều dựa trên việc tạo các tập điểm trên bề mặt đối tượng sao cho chúng cách nhau một khoảng cách đã được giới hạn trước. Ưu điểm của thuật toán là có thể phân bố các điểm trong không gian mà không bị chồng lấn hoặc quá thưa thớt. So với phân bố đều và phân bố ngẫu nhiên, thuật toán đĩa Poisson có thể điều chỉnh được mật độ xuất hiện các điểm trên bề mặt đối tượng tại những chỗ cần thể hiện chi tiết, do đó hình ảnh của đối tượng tại những vị trí này sẽ có độ phân giải sắc nét hơn. Ví dụ như trong vẽ ảnh, tại những vị trí như mắt, mũi, tóc, mũ của đối tượng cần được vẽ rõ nét thì mật độ điểm tại đó sẽ được tăng lên tương ứng.

Trong một nghiên cứu trước [8], nhóm tác giả đã áp dụng thuật toán phân chia đĩa Poisson được lập trình song song đa luồng chạy trên GPU để tăng hiệu suất tính toán và tăng số lượng hạt dầu được tạo ra. Cách thức thực hiện như sau: Đầu tiên thuật toán tạo ra một tập điểm trên một bề mặt, sau đó mỗi một luồng sẽ tự động nhặt một điểm trên tập vừa tạo ra để kiểm tra điều kiện khoảng cách $d \geq 2r$ sẽ được lưu lại và



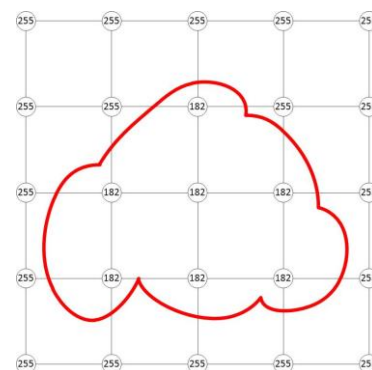
Hình 1. Phân chia điểm đa luồng trên GPU

hiển thị trên màn hình. Công việc được thực hiện đồng thời trên nhiều luồng của GPU để tăng đáng kể hiệu suất. Hình 1 thể hiện nguyên lý tính toán của thuật toán phân chia đĩa Poisson.

4. Thuật toán tạo lưới đa giác từ một bề mặt đẳng thế để mô phỏng màng dầu

4.1. Thuật toán Marching Cubes và Marching Square

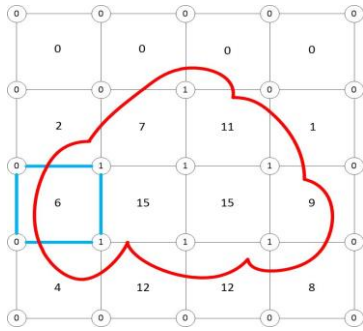
Thuật toán lấy mẫu đĩa Poisson đã tạo ra một bước đột phá trong việc mô tả các đặc điểm của sự cố tràn dầu trên biển, do đó cung cấp khả năng dễ dàng hiển thị chuyển động của nó thông qua việc áp dụng các công thức toán học cho từng hạt dầu, tuy nhiên hình dạng dầu vẫn rời rạc hàng nghìn hạt chưa hoàn toàn thỏa mãn mô phỏng chất lỏng. Trong bài báo này, nhóm tác giả sử dụng thuật toán Marching Cubes để biểu diễn sự liên tục của màng dầu. Thuật toán đã được áp dụng cho nhiều lĩnh vực, bao gồm trò chơi điện tử, hình ảnh trực quan y tế như hình ảnh quét máy tính (CT), hình ảnh cộng hưởng từ (MRI) và biểu diễn các mô hình 3D phi đa giác. Thuật toán Marching Cubes sử dụng một bề mặt đẳng thế để xác định đỉnh nào nằm bên trong hoặc bên ngoài mặt phẳng đó, sau đó một bề mặt sẽ được tạo ra từ các điểm cắt, được phát triển bởi Lorensen và Cline và ban đầu được trình bày tại hội nghị SIGGRAPH năm 1987 [9]. Kỹ thuật này cho phép chuyển đổi mô hình 3D phi đa giác (chẳng hạn như mô hình được biểu thị bằng voxels) thành mô hình đa giác. Để đơn giản ta đưa thuật toán về không gian 2 chiều gọi là Marching Square. Nguyên lý của thuật toán Marching Square như sau:



Hình 2. Tính toán chỉ số của vertex và cell

- Bước 1: Chia miền cần vẽ thành các cell và gán cho mỗi đỉnh (vertex) của cell một chỉ số (index), thuật toán sẽ tiến hành so sánh các chỉ số của vertex và giá trị isovalue mặc định, nếu chỉ số của vertex lớn hơn isovalue thì chuyển chỉ số của vertex sang hệ nhị phân là 0, ngược lại chuyển chỉ số của vertex là 1, trong

Hình 2 và Hình 3, lựa chọn giá trị $isovalue = 200$.



Hình 3. Tính toán chỉ số của vertex và cell

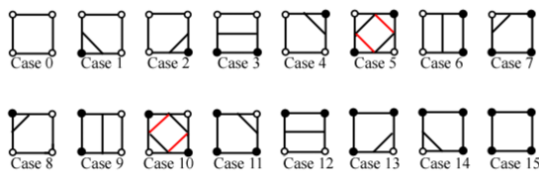
- Bước 2: Tại mỗi *cell* của miền tính toán, đi theo chiều kim đồng hồ để xác định mã nhị phân của *cell*, sau đó sử dụng toán tử thao tác *bit OR* (*bitwise OR*) và phép dịch trái *bit* để tìm ra chỉ số của *cell* dưới dạng hệ thập phân. Tại Hình 3, ví dụ lựa chọn ô được tô đậm xanh để tính, giá trị *bit* nhị phân là 0110 tương đương với số 6 trong hệ thập phân. Tương tự chúng ta cũng sẽ tính được chỉ số hệ thập phân với các *cell* còn lại.

- Bước 3: Với mỗi *cell* có dạng hình vuông 4 cạnh, mỗi cạnh sẽ có 2 trường hợp đường bao (*contour line*) cắt qua, như vậy sẽ có $2^4 = 16$ trường hợp có thể xảy ra trong thuật toán Marching Square như trong Hình 4.

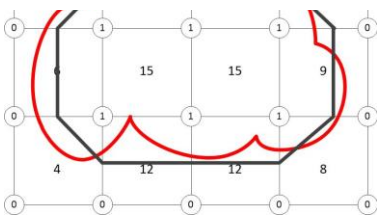
- Bước 4: Từ chỉ số của *cell* tính được ở bước 2 tra vào bảng 16 trường hợp ở bước 3 để vẽ các cạnh của đa giác, đường tô đậm màu đen trong Hình 5.

- Bước 5: Áp dụng phép nội suy tuyến tính giữa các giá trị dữ liệu trường ban đầu để tìm vị trí chính xác của đường bao dọc theo các cạnh của *cell*, đường màu đỏ trong Hình 5.

Như vậy, trải qua 5 bước ở trên, chúng ta có thể vẽ ra được bề mặt của đa giác từ một trường vô hướng 2 chiều.



Hình 4. Các trường hợp đường bao cắt các cell

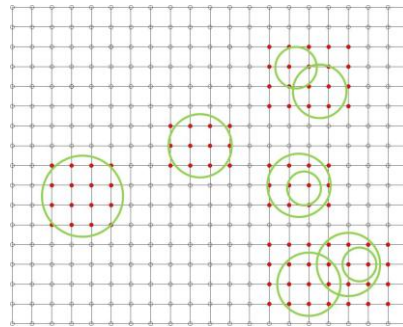


Hình 5. Vẽ sơ bộ hình dạng của đa giác

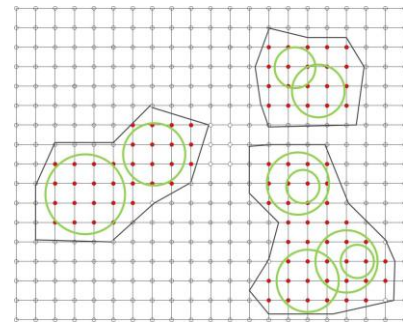
4.2. Ứng dụng thuật toán Marching Cubes để mô phỏng chuyển động màng dầu trên biển

Do hạt dầu ở nghiên cứu trước [8] được coi có dạng hình cầu, đầu tiên thuật toán sẽ kiểm tra xem những đỉnh nào của *cell* nằm bên trong hình tròn. Trong Hình 6, những đỉnh có màu đỏ là điểm được hiển thị trên màn hình, cũng chính là vùng tính toán của thuật toán. Phương trình thuật toán các điểm có tọa độ (x_0, y_0) nằm trong hình tròn bán kính r thỏa mãn:

$$(x - x_0)^2 + (y - y_0)^2 \leq r^2 \quad (6)$$

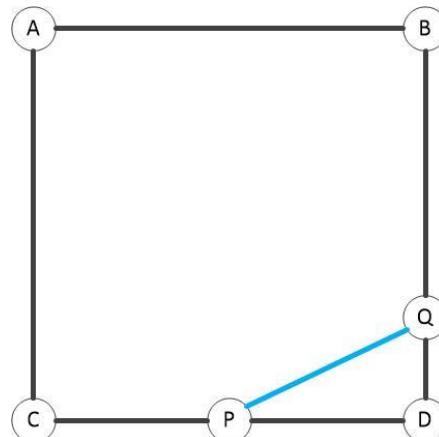


Hình 6. Kiểm tra các đỉnh nằm trong hình tròn



Hình 7. Vẽ sơ bộ hình dạng của màng dầu

Sau khi xác định được vùng tính toán là các đỉnh màu đỏ, chúng ta cũng áp dụng lần lượt các bước như



Hình 8. Nội suy tuyến tính giao điểm của đường bao

ở Mục 4.1 để vẽ các khối hạt dầu chuyển động uyển chuyển và va chạm vào nhau tạo thành các hình dạng đặc trưng của màng dầu như trong Hình 7.

Để sự chuyển động của màng dầu không bị gấp khúc, chúng ta áp dụng phương pháp nội suy tuyến tính để làm mịn đường bao và giảm hiệu ứng răng cưa. Thuật toán Marching Square tạo ra một xấp xỉ cho một đường bao của trường vô hướng 2 chiều. Nói cách khác, nếu chúng ta có hàm 2D, hàm này sẽ tìm giá trị gần đúng của một đường trong đó tất cả các điểm trên đường có cùng giá trị hàm thỏa mãn điều kiện $f(x,y)=1$. Xét trường hợp thứ 2 trong 16 trường hợp của thuật toán như Hình 8, đặt ký hiệu cho các đỉnh của cell là A, B, C, D, đường bao sẽ cắt cell tại P và Q.

Bài toán đặt ra là tìm tọa độ của $Q(x,y)$, đối với điểm $P(x,y)$ thì làm tương tự. Ta đã biết:

$$Q_x = B_x \quad (7)$$

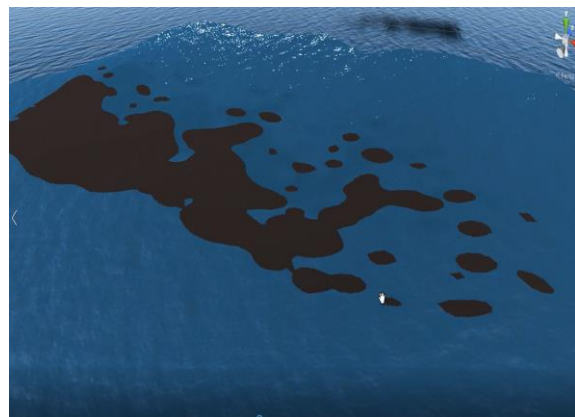
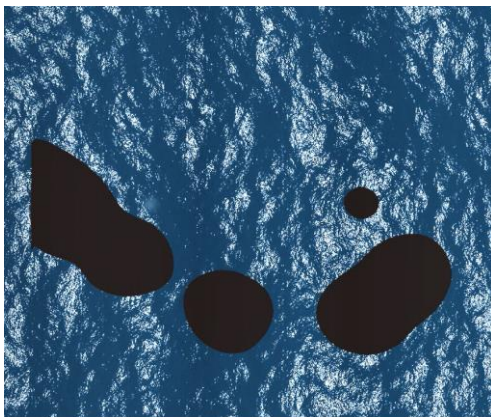
Mặc dù $f(x, y)$ không phải là tuyến tính, phép nội suy tuyến tính vẫn cho kết quả tốt để làm mịn các đường bao, do đó có thể tính gần đúng như sau:

$$\frac{Q_y - B_y}{D_y - B_y} \approx \frac{f(Q_x, Q_y) - f(B_x, B_y)}{f(D_x, D_y) - f(B_x, B_y)} \quad (8)$$

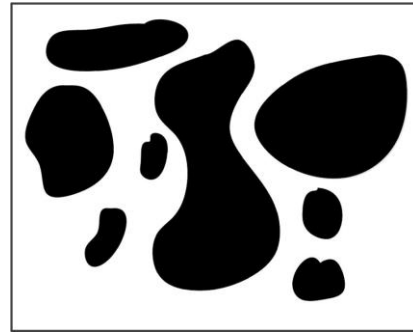
Vì chúng ta đang tìm Q để nó nằm trên đường bao trong đó $f(x,y) = 1$, nên chúng ta muốn $f(Q_x, Q_y) \approx 1$ thì công thức (8) được viết lại như sau:

$$Q_y = B_y + (D_y - B_y) \left(\frac{1 - f(B_x, B_y)}{f(D_x, D_y) - f(B_x, B_y)} \right) \quad (9)$$

Các giá trị ở vế phải của (9) đều đã biết, vì vậy dễ dàng tính được giá trị của Q_y . Tương tự như vậy chúng ta cũng có thể thiết lập công thức để tính được tọa độ của $P(x,y)$. Sau khi nội suy tuyến tính và tăng độ phân giải thì hình dạng của màng dầu được thể hiện như mô tả trong Hình 9.



Hình 10. Mô phỏng vệt dầu tại các thời điểm khác nhau



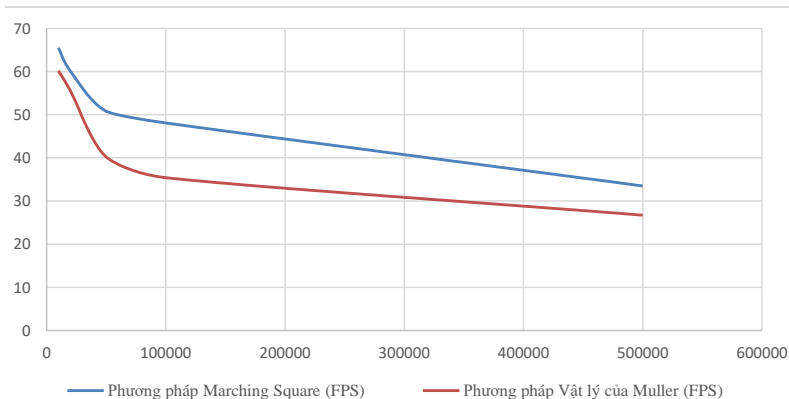
Hình 9. Hình dạng vệt dầu sau khi nội suy tuyến tính

5. Thực hiện mô phỏng vệt dầu loang trên biển

Để thực hiện mô phỏng vệt dầu loang với hơn 500 nghìn hạt dầu, nhóm tác giả đã sử dụng Card đồ họa NVIDIA GTX 1050Ti được gắn trên Mainboard Intel Core(TM) i7-7700HQ xung nhịp 2.80 GHz. Card GTX 1050Ti được gắn 768 nhân CUDA - kiến trúc Pascal, tên mã GP107, bộ nhớ dung lượng 4Gb GDDR5, độ rộng băng thông 128 bit. Đây là một loại Card màn hình thuộc phân khúc tầm trung nhưng vẫn đáp ứng được render các hình ảnh của vệt dầu loang trên biển. Hình 10 thể hiện kết quả mô phỏng sự chuyển động của màng dầu trên biển bằng phần mềm Unity với các thông số đầu vào của dầu như sau:

- Lượng dầu tràn: $1500m^3$;
- Khối lượng riêng của dầu: $\rho_0 = 890 kg/m^3$;
- Khối lượng riêng nước biển: $\rho_w = 1023 kg/m^3$
- Vận tốc gió ở độ cao 10 m so với mặt nước biển: $W_{10} = 0.5 m/s$;

Hình bên trái là khi mới bắt đầu xảy ra sự cố tràn dầu, vệt dầu có diện tích bao phủ nhỏ và chủ yếu có dạng Elip. Hình bên phải là khi vệt dầu đã loang và phát triển về mặt thể tích, do đó diện tích bao phủ sẽ lớn hơn. Các hình ảnh được chụp ở các góc quay khác



Hình 11. So sánh chỉ số FPS (Frame per Second)

nhau. Chương trình mô phỏng đã thể hiện được quá trình phân tách của màng dầu thành những phần nhỏ hơn và sự chuyển động nhịp nhàng giữa màng dầu với sóng biển như ngoài thực tế.

Ngoài ra, để thể hiện tính ưu việt của chương trình, nhóm tác giả đã so sánh chỉ số FPS (Frame per Second) với phương pháp mô phỏng vật lý của Muller, kết quả cho thấy phương pháp Marching Square luôn cho FPS cao hơn với cùng số lượng hạt dầu được mô phỏng (xem Hình 11).

6. Kết luận

Mô phỏng chất lỏng nói chung và màng dầu nói riêng có tầm quan trọng rất lớn trong việc đào tạo, huấn luyện công tác ứng phó tràn dầu trên biển, góp phần giúp tiết kiệm chi phí và nguồn lực con người. Tuy nhiên, với việc vừa mô phỏng bề mặt biển và màng dầu sẽ gây ra khối lượng tính toán và kết xuất đồ họa là vô cùng lớn. Phương pháp mô phỏng hình học dựa trên thuật toán tạo lưới đa giác từ một bề mặt đẳng thế cho kết quả nhanh và có thể mô phỏng một diện tích dầu lớn. Đồng thời chỉ số FPS cũng tỏ ra vượt trội so với phương pháp mô phỏng vật lý. Chương trình mô phỏng hoàn toàn có thể được tích hợp vào phòng mô phỏng buồng lái tại Trường Đại học Hàng hải Việt Nam để thực hiện diễn tập ứng phó sự cố tràn dầu trên biển.

Lời cảm ơn

Nghiên cứu này được tài trợ bởi Trường Đại học Hàng hải Việt Nam trong đề tài mã số: **DT22-23.02**.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] M. Müller, S. Schirm, and S. Duthaler (2007), *Screen Space Meshes*, in Proceedings of the 2007 ACM SIGGRAPH/Eurographics symposium on Computer animation. Eurographics Association, pp.9-15.

- [2] C. Brito, S. Almeida et al. (2017), *Screen Space Rendering Solution for Multiphase SPH Simulation*, in Proceedings of the 19th Symposium on Virtual and Augmented Reality, pp.309-318.
- [3] J. Stam (1999), *Stable Fluids*. In SIGGRAPH 99 Conference Proceedings, Annual Conference Series, pp.121-128.
- [4] K. Kakuda, T. Nagashima et al. (2012), *Particle-based Fluid Flow Simulations on GPGPU Using CUDA*. Computer Modeling in Engineering and Sciences, Vol.88, No.1, pp.17-28.
- [5] Fay J. A (1969), *The spread of oil slicks on a calm sea*. Oil on the Sea, New York: Ed. Plenum Press, pp.53-63.
- [6] Lehr W J, Cekirge H M, Fraga R J, et al (1984), *Empirical studies of the spreading of oil spills*. Oil and Petrochemical Pollution, Vol.2, pp.7-12.
- [7] M. Fingas (2015), *Chapter 8 - Introduction to spill modeling*, pp.187-200.
- [8] Đỗ Văn Cường, Trần Gia Ninh, Nguyễn Lê Kim Phúc (2022), *Mô phỏng quá trình chuyển động và phân tách của màng dầu trên biển dựa trên thuật toán phân chia điểm Poisson*. Tạp chí Khoa học Công nghệ Hàng hải, Số 70 (04/2022), tr.09-14.
- [9] W. Lorensen and H. Cline (1987). *Marching Cubes: A High Resolution 3D Surface Construction Algorithm*. In Proc. of the SIGGRAPH'87, pp.163-169.

| | |
|--------------------|------------|
| Ngày nhận bài: | 18/12/2022 |
| Ngày nhận bản sửa: | 27/12/2022 |
| Ngày duyệt đăng: | 30/12/2022 |

NGHIÊN CỨU MÔ PHỎNG DÒNG CHẢY BAO QUANH THÂN TÀU
TRÊN NƯỚC TĨNH BẰNG PHƯƠNG PHÁP CFD
NUMERICAL SIMULATION FLOW AROUND THE SHIP
IN CALM WATER CONDITION BY CFD METHOD

TRẦN NGỌC TÚ*, PHẠM THỊ THANH HẢI, NGUYỄN MẠNH CHIẾN

Khoa Đóng tàu, Trường Đại học Hàng hải Việt Nam

*Email liên hệ: tutn.dt@vamaru.edu.vn

Tóm tắt

Bài báo thực hiện việc nghiên cứu tính toán lực cản tàu và các đặc trưng về dòng chảy bao quanh thân tàu tại các tốc độ khác nhau khi chạy trên nước tĩnh bằng phương pháp số CFD. Ảnh hưởng của tốc độ tàu đến lực cản, hình dáng sóng bề mặt và profile dọc thân tàu, phân bố ứng suất tiếp và áp suất động trên bề mặt thân tàu, dòng theo phía sau thân tàu, diện tích ngâm nước của đuôi transom được đưa ra và phân tích trong nghiên cứu này. Kết quả mô phỏng tính toán được đối sánh với kết quả thực nghiệm nhằm kiểm tra độ tin cậy của kết quả tính toán.

Từ khóa: Dòng chảy, CFD, lực cản tàu, mô phỏng.

Abstract

This paper presents the simulation results of ship resistance and flow around the hull of the ship at different ship speeds in calm water condition by CFD method. The effect of ship speed on ship resistance, wave pattern and wave profile along the ship, distribution of wall shear stress and dynamic pressure on the hull surface, nominal wake field, transom wetted surface area are presented and analyzed in the paper. The obtained numerical results are compared with the measured data to verify the reliability of the simulation results.

Keywords: Flow, CFD, resistance, simulation.

1. Đặt vấn đề nghiên cứu

Trong bài toán thiết kế tuyến hình tàu, việc có được các thông tin chính xác về dòng chảy bao quanh thân tàu khi chuyển động có ý nghĩa rất quan trọng bởi nó là thông số đầu vào phục vụ cho nhiều bài toán thiết kế khác nhau như: Bài toán tối ưu hóa tuyến hình tàu; bài toán thiết kế hệ thiết bị đẩy cho tàu,...

Như chúng ta đã biết, để có được các thông tin về đường dòng bao quanh thân tàu, người ta đang sử dụng hai phương pháp gồm: Phương pháp CFD và phương pháp thử mô hình trong bể thử. Trong đó,

phương pháp thử là phương pháp cung cấp cho chúng ta số liệu tin cậy nhất về đặc điểm dòng chảy bao quanh thân tàu. Tuy nhiên, phương pháp này đòi hỏi về mặt thời gian và chi phí rất lớn. Vì lý do này mà phương pháp thực nghiệm là không khả thi khi áp dụng vào trong giai đoạn thiết kế phương án. Đối với phương pháp CFD, nó có ưu điểm là cho kết quả khá tin cậy, giảm thời gian và chi phí trong việc tính toán so với thử mô hình. Ngoài ra, phương pháp CFD còn cung cấp cho chúng ta chi tiết về đặc điểm dòng chảy bao quanh thân tàu hơn nhiều so với thử mô hình [1]. Chính vì vậy, CFD đã và đang được áp dụng rất phổ biến trên thế giới vào trong nghiên cứu dòng chảy bao quanh thân tàu nói riêng và trong việc giải quyết các bài toán thủy động lực học của tàu nói chung. Ví dụ, nghiên cứu của nhóm tác giả Satu Hänninen & Juha Sehweighofer [2] về đường dòng bao quanh thân tàu container Hamburg Test Case ở các tỷ lệ mô hình khác nhau bằng phương pháp số CFD. Nghiên cứu của nhóm tác giả đã đưa ra được các hình ảnh về dòng chảy bao quanh thân tàu khi chuyển động ở các tỷ lệ mô hình khác nhau. Tác giả Tu và các cộng sự [3] đã thực hiện việc nghiên cứu ảnh hưởng của việc lựa chọn mô hình dòng rối đến sự thay đổi đặc tính dòng chảy bao quanh thân tàu DTMB. Nghiên cứu của nhóm tác giả đã chỉ ra, việc lựa chọn mô hình dòng rối có ảnh hưởng khá lớn đến kết quả mô phỏng tính toán lực cản và dòng chảy bao quanh thân tàu. Nhóm tác giả Ke-wei Song và các cộng sự [4] đã sử dụng phương pháp CFD kết hợp với phương pháp thực nghiệm trong việc nghiên cứu ảnh hưởng của tấm cánh gắn vào đuôi tàu đến lực cản và dòng chảy quanh thân tàu. Thông qua việc phân tích dòng chảy bao quanh thân tàu, bài báo đã giải thích được ảnh hưởng của tấm cánh gắn vào đuôi tàu đến lực cản và tư thế của tàu khi chuyển động.

Các nghiên cứu đi trước kể trên của các tác giả trên thế giới là nguồn tài liệu tham khảo bổ ích trong việc áp dụng phương pháp CFD vào trong nghiên cứu tính toán lực cản và mô phỏng dòng chảy bao quanh thân tàu. Bài báo này, sẽ tiến hành mô phỏng chuyển động của tàu trên nước tĩnh khi chạy ở các vận tốc khác

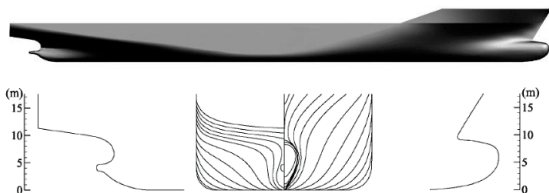
nhau bằng phương pháp CFD. Đối tượng nghiên cứu được sử dụng trong bài báo này là mô hình tàu container KCS [5].

2. Giới thiệu về mô hình tàu container KCS

Đối tượng nghiên cứu được nhóm tác giả sử dụng trong bài báo này là tàu container KCS ở dạng tỷ lệ mô hình. Đây là mô hình tàu được thiết kế bởi Viện Nghiên cứu tàu và Công trình ngoài khơi Hàn Quốc. Lý do nhóm nghiên cứu sử dụng mô hình tàu này làm đối tượng nghiên cứu bởi đây là mô hình tàu mà tất cả mọi người có thể tiếp cận được ở trên mạng cả về hình dáng và kết quả thử nghiệm mô hình này trong bể thử [5-7]. Các đặc trưng hình học cơ bản và hình dáng thân tàu container KCS được biểu diễn trên Bảng 1 và Hình 1.

Bảng 1. Các thông số hình học của mô hình tàu container KCS

| Các thông số | Ký hiệu | Đơn vị | Giá trị |
|-------------------------------|----------|-------------------|---------|
| Chiều dài hai đường vuông góc | L_{PP} | [m] | 7,2786 |
| Chiều rộng tàu | B | [m] | 1,0190 |
| Đường nước thiết kế của tàu | T | [m] | 0,3418 |
| Lượng chiếm nước thể tích | ∇ | [m ³] | 1,648 |
| Diện tích mặt ướt của tàu | S | [m ²] | 9,5121 |
| Hệ số béo thể tích của tàu | C_B | [-] | 0,6505 |



Hình 1. Hình dáng tàu container KCS

3. Thiết lập mô phỏng

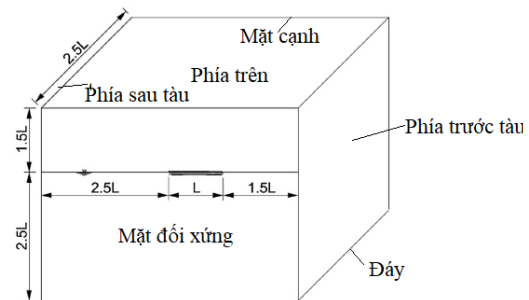
3.1. Xây dựng điều kiện và các trường hợp tính

Để có thể đối sánh kết quả mô phỏng với kết quả thực nghiệm, điều kiện tính toán mô phỏng và các trường hợp tính sẽ được thiết lập giống như trong thực nghiệm khi thử tàu container KCS trong bể thử [6, 7]. Cụ thể ở đây sẽ tiến hành mô phỏng dòng chảy bao quanh thân tàu khi chạy trên nước tĩnh tại các số Froude 0,108, 0,152, 0,195, 0,227 và 0,260, tàu chuyển động tự do tịnh tiến theo phương 0z và chuyển động quay quanh trục 0y. Độ nhớt, khối lượng riêng của nước được lấy giống như trong điều kiện thực nghiệm.

3.2. Xác định miền tính toán và lựa chọn loại điều kiện biên

Do tàu có đặc điểm là đối xứng qua mặt phẳng dọc tâm, do vậy, để giảm thời gian mô phỏng, trong bài toán này, ta chỉ cần tiến hành tính toán cho một nửa thân tàu. Theo đó, kích thước của miền tính toán (bể thử ảo) được xác định dựa trên khuyến nghị của ITTC (Hội nghị bể thử quốc tế) [8]. Biên của bể thử ảo nằm phía trước tàu cách mũi tàu một khoảng là $1,5L_{PP}$, biên của bể thử ảo nằm phía sau tàu cách đuôi tàu một khoảng là $2,5L_{PP}$. Miền không gian phía trên, phía dưới tàu và phía mạn tàu nằm cách tàu một khoảng lần lượt là $1,5L_{PP}$, $2,5L_{PP}$ và $2,5L_{PP}$.

Loại điều kiện biên được lựa chọn trong bài toán này như sau: Đối với miền tính toán, biên của miền tính toán phía trước, phía trên và phía dưới tàu là velocity inlet, biên của miền tính toán phía sau tàu là pressure outlet, biên của miền tính toán phía mạn và mặt đối xứng của tàu là symmetry plane. Đối với thân tàu, loại điều kiện biên được lựa chọn là No-slip wall.



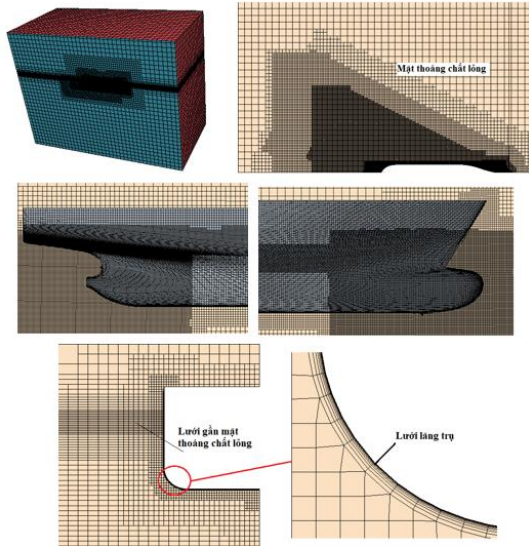
Hình 2. Kích thước bể thử ảo

3.3. Lưới và mô hình vật lý

Trong mô phỏng tính toán bằng CFD, lưới là một trong các tham số thiết lập ảnh hưởng rất lớn đến kết quả tính toán. Loại lưới được sử dụng trong nghiên cứu này gồm: Lưới trimmed và lưới prism layer. Lưới trimmed được dùng để chia miền không gian tính ra thành các thể tích hữu hạn. Lưới prism layer dùng để giải lớp biên bao quanh thân tàu [9]. Nhằm giảm số lượng phần tử lưới trong khi vẫn giữ được độ chính xác về kết quả tính toán, lưới sẽ được refine tại các vị trí và khu vực quan trọng như: Tại vị trí gần mặt thoáng chất lỏng, tại khu vực gần tàu, đặc biệt là tại phía mũi và đuôi tàu nơi có đường cong phức tạp. Kết quả tạo lưới được thể hiện trên Hình 3.

Mô hình dòng chảy nhớt không bị nén RANSE được sử dụng trong bài toán này. Mô hình dòng rối SST K- ω được sử dụng để đóng phương trình RANSE.

SST K- ω là mô hình dòng rối được các tác giả [3] khuyến nghị áp dụng bởi đây việc sử dụng mô hình dòng rối này cho kết quả mô phỏng tin cậy so với kết quả thực nghiệm, thời gian cho kết quả hội tụ nhanh.



Hình 3. Kết quả chia lưới

4. Kết quả mô phỏng

4.1. Kết quả tính toán lực cản tàu

Bước đầu tiên trong tính toán bằng CFD là ta cần phải nghiên cứu sự hội tụ của lưới để tránh các sai số do lưới gây ra. Ở đây, theo khuyến nghị của Hiệp hội bể thử quốc tế (ITTC) [10], việc nghiên cứu sự hội tụ của lưới sẽ được tiến hành với ba kích thước lưới khác nhau với sự thay đổi tỷ lệ độ mịn của lưới là $r_G = \sqrt{2}$. Trong bài toán này, 3 mật độ lưới được sử dụng trong nghiên cứu sự hội tụ của lưới gồm lưới thô, lưới cỡ trung và lưới mịn ứng với số phần tử lưới lần lượt là 0,75, 1,25 và 2,48 triệu. Kết quả nghiên cứu sự hội tụ của lưới tại tốc độ $Fr=0,26$ được trình bày trên Bảng 2.

Bảng 2. Kết quả nghiên cứu sự hội tụ của lưới tại $Fr=0,26$

| Hệ số lực cản tàu | Mật độ lưới | | | ϵ_{23} | ϵ_{12} | R_k |
|-------------------|-------------|---------------|----------|-----------------|-----------------|-------|
| | Lưới thô | Lưới cỡ trung | Lưới mịn | | | |
| $10^3 C_T$ | 3,86 | 3,78 | 3,75 | -0,08 | -0,03 | 0,375 |

Các đại lượng ϵ_{23} , ϵ_{12} và R_k trong Bảng 2 được xác định như sau:

$$\epsilon_{12} = (S_1 - S_2) / S_1; \epsilon_{23} = (S_2 - S_3) / S_2 \quad (1)$$

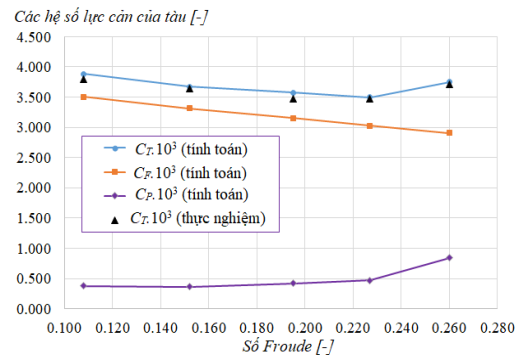
$$R_k = \epsilon_{12} / \epsilon_{23} \quad (2)$$

Trong đó: S_1 , S_2 , S_3 - là kết quả tính toán lực cản

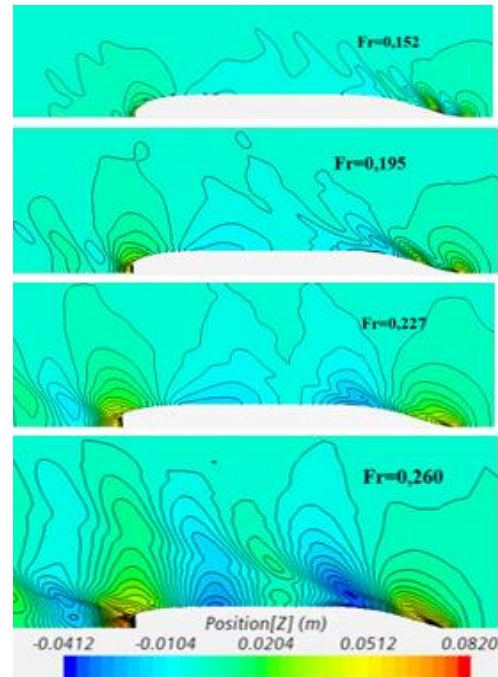
tàu khi sử dụng các kích thước lưới lần lượt là lưới mịn, lưới cỡ trung và lưới thô.

Bảng 3. Kết quả tính toán lực cản tàu các số Froude khác nhau có sự đối sánh với kết quả thử

| Fr [-] | Mô phỏng bằng CFD | | | Thực nghiệm | E%D [%] |
|--------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|---------|
| | $C_T \cdot 10^3$ [-] | $C_F \cdot 10^3$ [-] | $C_P \cdot 10^3$ [-] | $C_T \cdot 10^3$ [-] | |
| 0,108 | 3,882 | 3,502 | 0,380 | 3,796 | 2,27 |
| 0,152 | 3,675 | 3,312 | 0,363 | 3,641 | 0,93 |
| 0,195 | 3,575 | 3,155 | 0,420 | 3,475 | 2,88 |
| 0,227 | 3,498 | 3,028 | 0,470 | 3,467 | 0,89 |
| 0,260 | 3,75 | 2,907 | 0,843 | 3,711 | 1,05 |



Hình 4. Đồ thị quan hệ giữa các hệ số lực cản thành phần của tàu với số Froude của tàu

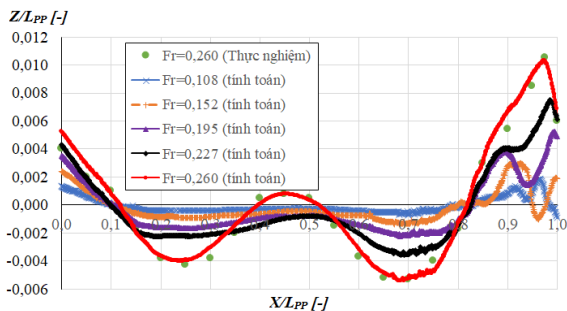


Hình 5. Hình dáng sóng tại mặt thoáng chất lỏng ở các số Froude khác nhau

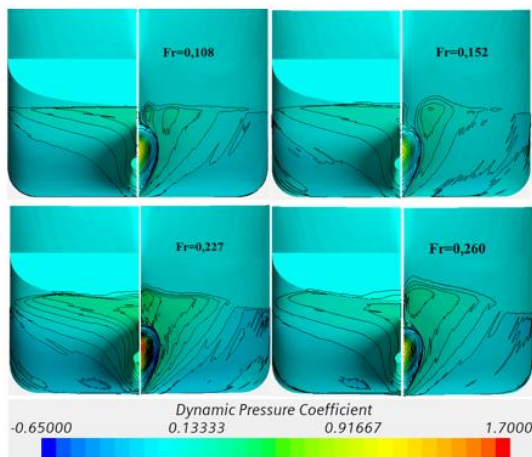
Theo kết quả nghiên cứu sự hội tụ của lưới trên Bảng 2, ta thấy rằng kết quả mô phỏng thu được là hội tụ đơn điệu và sự thay đổi hệ số lực cản tàu ở đây là rất nhỏ khi sử dụng lưới mịn (sai số 1,05% so với kết quả thử mô hình, với kết quả thử mô hình cho $C_T=3,711.10^{-3}$ [6, 7]). Chính vì vậy, ở đây sẽ sử dụng lưới mịn để mô phỏng dòng chảy bao quanh thân tàu ở các số Froude khác nhau.

Kết quả tính toán lực cản tàu và các thành phần lực cản của nó ở các số Froude khác nhau có sự so sánh

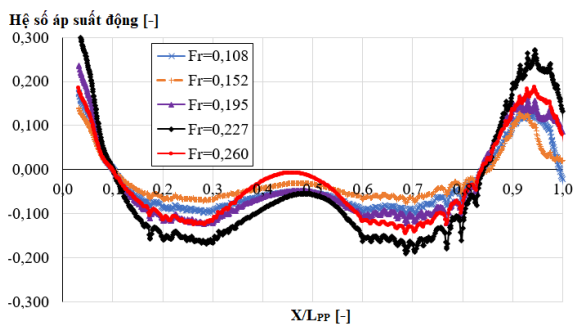
với kết quả thực nghiệm do trong bể thử được biểu diễn trên Bảng 3 và Hình 4. Trong đó các ký hiệu C_F , C_P , $E\%D$ trong Bảng 3 lần lượt được hiểu là hệ số lực cản thành phần ma sát, hệ số lực cản thành phần áp suất của tàu và sai số giữa tính toán và thực nghiệm. Như trên Bảng 3 ta có thể quan sát thấy sai số giữa tính toán và thực nghiệm rất nhỏ chỉ nằm trong dải từ 0,89% đến 2,88%. Khi tăng tốc độ tàu thì hệ số lực cản ma sát giảm dần và hệ số lực cản áp suất tăng lên.



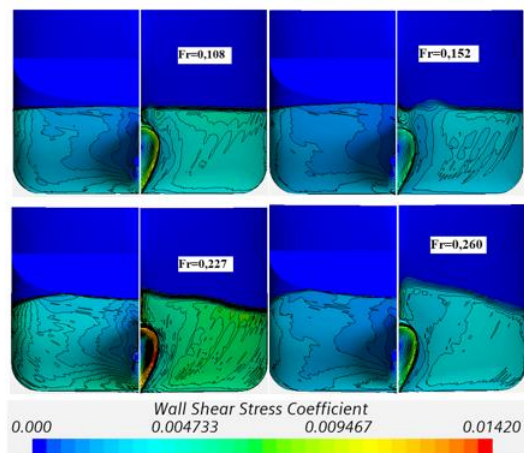
Hình 6. Profile sóng dọc thân tàu khi chuyển động ở các số Froude khác nhau



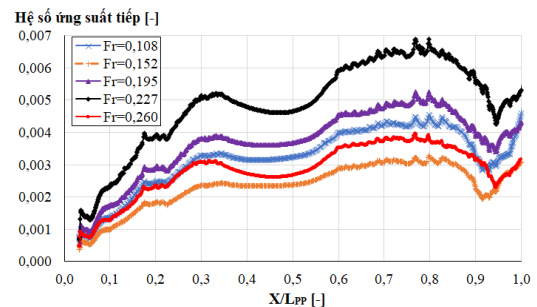
Hình 7. Áp suất động trên bề mặt thân tàu khi chuyển động ở các số Froude khác nhau



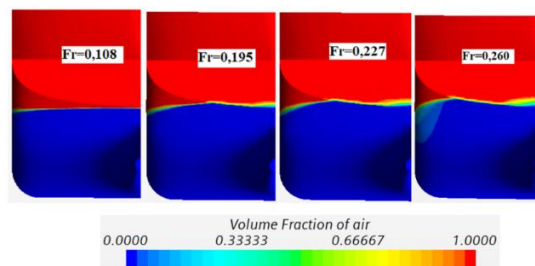
Hình 8. Phân bố áp suất động tại $Z/T=0,5$ ở các số Froude khác nhau



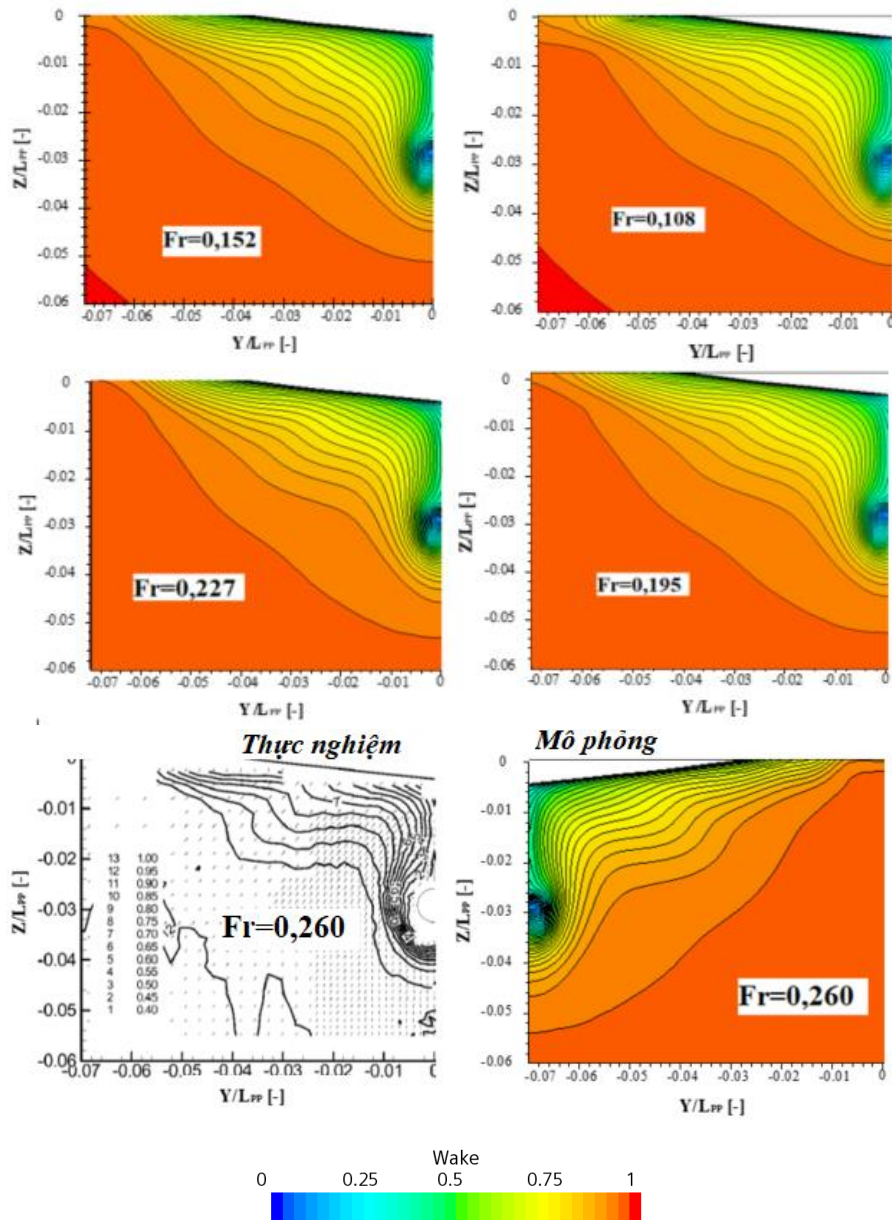
Hình 9. Ứng suất tiếp trên bề mặt thân tàu khi chuyển động ở các số Froude khác nhau



Hình 10. Phân bố ứng suất tiếp tại $Z/T=0,5$ ở các số Froude khác nhau



Hình 11. Ảnh hưởng của số Froude đến phần diện tích ngâm nước đuôi transom



Hình 12. Trường dòng theo danh nghĩa tại đĩa chong chóng ở các số Froude khác nhau

4.2. Kết quả mô phỏng đường dòng bao quanh thân tàu

Các thông tin về dòng chảy bao quanh thân tàu khi chạy ở các tốc độ khác nhau được biểu diễn trên các hình từ Hình 5 đến Hình 12. Trên Hình 5 chúng ta có thể nhận thấy sự khác nhau về biên độ và hình dạng sóng tại mặt thoáng chất lỏng khi tàu chuyển động ở các số Froude khác nhau. Profile sóng dọc thân tàu có biên độ tăng dần khi tăng số Froude của tàu (xem Hình 6). Từ Hình 6 chúng ta cũng có thể nhận thấy kết quả mô phỏng profile sóng dọc thân tàu tại tốc độ $Fr=0,260$ rất gần với kết quả thực nghiệm trong bể thử.

Phân bố áp suất trên bề mặt thân tàu là một trong

các yếu tố ảnh hưởng đến thành phần lực cản áp suất của tàu. Hình 7 và Hình 8 biểu diễn hệ số áp suất động phân bố trên bề mặt thân tàu khi chạy ở các số Froude khác nhau. Từ các hình trên ta có thể thấy, phân bố áp suất động phụ thuộc khá lớn vào tốc độ chuyển động của tàu. Cụ thể, ở đây ta thấy hệ số áp suất động trên bề mặt thân tàu tại số Froude 0,227 lớn hơn so với khi tàu chuyển động ở các số Froude khác.

Phân bố ứng suất tiếp trên bề mặt thân tàu là một trong các yếu tố ảnh hưởng đến thành phần lực cản ma sát của tàu. Các hình ảnh về phân bố ứng suất tiếp trên bề mặt thân tàu khi chạy ở các tốc độ khác nhau được trình bày trên Hình 9 và 10. Quan sát trên Hình 9 và

10, ta có thể nhận thấy, hệ số này phụ thuộc khá lớn vào tốc độ chuyển động của tàu và sự phụ này không có tính chất đơn điệu tuyến tính. Cụ thể, hệ số ứng suất tiếp lớn nhất ở số Froude 0,227 và có giá trị nhỏ nhất ở số Froude 0,152.

Trên Hình 11 thể hiện các hình ảnh về phần diện tích đuôi transom ngâm nước khi tàu chạy ở các số Froude khác nhau. Từ Hình 11 ta có thể nhận thấy, phần diện tích ngâm nước của đuôi transom sẽ tăng dần khi tăng tốc độ chuyển động của tàu (tăng số Froude).

Trường dòng theo danh nghĩa tại đĩa chong chóng là một trong những đặc trưng thủy động quan trọng ảnh hưởng đến hiệu quả làm việc của chong chóng sau thân tàu. Trên Hình 12 thể hiện trường dòng theo danh nghĩa tại đĩa chong chóng khi chuyển động ở các số Froude khác nhau. Từ Hình 12 ta có thể nhận thấy, trường dòng theo danh nghĩa giảm dần đều khi số Froude của tàu tăng. So sánh giữa trường dòng theo thu được qua mô phỏng bằng CFD với kết quả đo đạc thực nghiệm tại số Froude 0,260, ta có nhận thấy kết quả thu được khá giống nhau.

5. Kết luận

Bài báo đã đạt được mục tiêu nghiên cứu đặt ra trong việc mô phỏng dòng chảy bao quanh thân tàu ở các vận tốc khác nhau bằng việc sử dụng phương pháp CFD. Các kết quả thu được, cụ thể như sau:

- Đã tính toán được lực cản tàu trên nước tĩnh tại các số Froude khác nhau. Kết quả tính toán rất gần so với kết quả thực nghiệm.

- Đã đưa ra và phân tích được các đặc trưng về hình dáng sóng bề mặt và profile; phân bố hệ số áp suất động, hệ số ứng suất tiếp trên bề mặt thân tàu; ảnh hưởng của tốc độ tàu tới diện tích ngâm nước của đuôi transom; ảnh hưởng của tốc độ tàu tới dòng theo danh nghĩa tại đĩa chong chóng. Đây là các thông tin quan trọng, giúp ích cho người thiết kế rất nhiều trong việc cải tiến hình dáng thân tàu nhằm giảm lực cản.

Lời cảm ơn

Nghiên cứu này được tài trợ bởi Trường Đại học Hàng hải Việt Nam trong đề tài mã số: **DT22-23.29**.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Molland, A.F., S.R. Turnock, and D.A. Hudson. (2017), *Ship resistance and propulsion*. Cambridge university press.
- [2] Hänninen, S. and J. Sehweighofer. (2006), *Numerical investigation of the scale effect on the flow around a ship hull*. Ship Technology Research, Vol.53(1): pp.17-25.
- [3] Tu, T.N., et al. (2021), *Effects of Turbulence Models On RANSE Computation Of Flow Around DTMB 5415 Vessel*. Naval Engineers Journal, Vol.133(3): pp.137-151.
- [4] Song, K.-w., et al. (2020), *Experimental and numerical study on the scale effect of stern flap on ship resistance and flow field*. Vol.15(9): pp. 981-997.
- [5] *SIMMAN 2008 Workshop*, [Online]. Available from: <http://www.simman2008.dk/kcs/container.html>.
- [6] Kim, W., S. Van, and D. Kim. (2001), *Measurement of flows around modern commercial ship models*. Experiments in fluids, Vol.31(5): pp.567-578.
- [7] Hino, T., et al. (2020), *Numerical Ship Hydrodynamics: An Assessment of the Tokyo 2015 Workshop*. Vol.94, Springer Nature.
- [8] *ITTC 2014. Recommended procedures and guidelines 7.5-03-02-04*. Available from: <https://itc.info/media/4198/75-03-02-04.pdf>.
- [9] Dogrul, A., S. Song, and Y.K. Demirel. (2020), *Scale effect on ship resistance components and form factor*. Ocean Engineering, Vol.209: p. 107428.
- [10] Tahara, Y., et al. (2006), *RANS simulation of a container ship using a single-phase level-set method with overset grids and the prognosis for extension to a self-propulsion simulator*. Journal of marine science and technology, Vol.11(4): pp.209-228.

| | |
|--------------------|------------|
| Ngày nhận bài: | 17/11/2022 |
| Ngày nhận bản sửa: | 08/12/2022 |
| Ngày duyệt đăng: | 20/12/2022 |

NGHIÊN CỨU SỬ DỤNG ỨNG CÓ CÁNH ĐỂ NÂNG CAO KHẢ NĂNG LƯU TRỮ NHIỆT CỦA ẮC QUY NHIỆT BẰNG PHƯƠNG PHÁP SỐ

NUMERICAL STUDY ON USING FINNED TUBE TO IMPROVE THE HEAT STORAGE CAPACITY OF THERMAL BATTERY

DƯƠNG XUÂN QUANG^{1*}, TRẦN THỂ NAM²

¹Viện Cơ khí, Trường Đại học Hàng hải Việt Nam

²Phòng Khoa học - Công nghệ, Trường Đại học Hàng hải Việt Nam

*Email liên hệ: duongxuanquang@vamaru.edu.vn

Tóm tắt

Bài báo trình bày nghiên cứu mô phỏng việc sử dụng ống có cánh nhằm nâng cao khả năng lưu trữ năng lượng của vật liệu thay đổi pha (PCM) trong các ắc quy nhiệt bằng phương pháp số. Kết quả mô phỏng cho thấy một ắc quy nhiệt đã được thiết kế với kích thước $L \times D = 400(\text{mm}) \times 60(\text{mm})$ sử dụng một ống với 8 cánh có thể lưu trữ được 2kJ với công suất lưu trữ nhiệt là $0,139\text{W}$ cao hơn 173% và 213% so với ống 4 cánh là $(0,121\text{W})$ và ống trơn $(0,044\text{W})$.

Từ khóa: Ắc quy nhiệt, thay đổi pha, truyền nhiệt, lưu trữ nhiệt, CFD.

Abstract

This paper presents a simulation study on the use of finned pipe to improve the capacity for energy storage of phase change materials (PCMs) in thermal accumulators by numerical method. Simulating results show that using finned pipes has the ability to store the heat of 2kJ with heat storage capacity is 0.139W , 173% and 213% higher than the 4 fins - tube (0.121W) and the plain tube (0.044W) , respectively.

Keywords: Thermal accumulator, phase change, heat transfer, heat storage, CFD.

1. Mở đầu

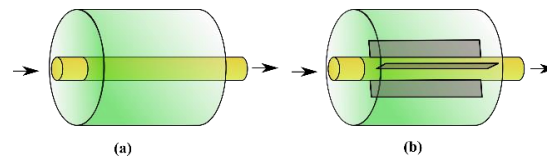
Nguồn năng lượng tái tạo vô hạn như bức xạ mặt trời đã và đang đóng một vai trò quan trọng trong việc tạo nên sự cân bằng tự nhiên và cung cấp cho nhu cầu năng lượng ngày càng tăng của con người trên trái đất. Hiện nay, nguồn năng lượng này thường được khai thác và lưu trữ dưới dạng điện năng và nhiệt năng [1-3]. Trong các nghiên cứu trước đó [4, 5] một mô hình ắc quy nhiệt để lưu trữ nguồn năng lượng nhiệt đã được xây dựng và các nghiên cứu này đã chỉ ra rằng, ở cùng điều kiện làm việc của nguồn nhiệt, ắc quy nhiệt sử dụng vật liệu thay đổi pha (PCM) có khả năng

lưu trữ cao hơn gấp 3 lần bộ lưu trữ nhiệt thông thường.

Tác dụng làm tăng hiệu quả trao đổi nhiệt cho các thiết bị trao đổi nhiệt của việc sử dụng ống có cánh đã được khẳng định và đã được ứng dụng rộng rãi [6]. Tuy nhiên, hiệu quả của việc sử dụng ống có cánh trong lưu trữ nhiệt năng của các ắc quy nhiệt hiện vẫn chưa được nghiên cứu và đánh giá một cách đầy đủ. Trong nghiên cứu này, các tác giả xây dựng mô hình số cho hệ thống ắc quy nhiệt sử dụng ống có cánh và nghiên cứu sự đáp ứng nhiệt của ắc quy nhiệt bằng phương pháp mô phỏng số. Dựa trên kết quả mô phỏng, các phân tích, đánh giá về tính hiệu quả của việc sử dụng ống có cánh so với ống trơn trong các ắc quy nhiệt được thực hiện. Kết quả của nghiên cứu này có thể được sử dụng trong tính toán thiết kế các hệ thống ắc quy nhiệt thực tế.

2. Mô hình ắc quy nhiệt

Một mô hình số của một ắc quy nhiệt có kích thước $L \times D = 400(\text{mm}) \times 60(\text{mm})$, với đường kính ống $d=10\text{mm}$ đã được xây dựng. Nhằm mục đích đánh giá ảnh hưởng của ống có cánh tới khả năng lưu trữ nhiệt, trong nghiên cứu này đã sử dụng các cánh bằng đồng có chiều dày 1mm , chiều cao cánh 25mm gắn dọc theo chiều dài ống như được mô tả trên Hình 1, số cánh được sử dụng lần lượt là 4 cánh và 8 cánh.



Hình 1. Mô hình ắc quy nhiệt sử dụng ống trơn (a) và ống có cánh (b)

Vật liệu thay đổi pha được lựa chọn sử dụng trong ắc quy nhiệt là Sáp nến (Parafin Wax). Các đặc tính nhiệt động học của vật liệu này được đưa ra trong Bảng 1. PCM lỏng được điền đầy vào ắc quy và được

bọc bằng một lớp xốp cách nhiệt Expandable PolyStyrene (EPS).

Bảng 1. Tính chất vật lý của Parafin

| Tham số | Giá trị | Đơn vị |
|--|-----------|-------------------|
| Nhiệt độ nóng chảy (T_m) | 43-56 | °C |
| Khối lượng riêng (ρ_s/ρ_l) | 970/900 | kg/m ³ |
| Nhiệt dung riêng ($C_{p,s}/C_{p,l}$) | 2,0/2,9 | kJ/kgK |
| Nhiệt nóng chảy (ΔH_m) | 210 | kJ/kg |
| Hệ số dẫn nhiệt (k) | 0,22/0,24 | W/mK |

2. Mô hình toán

Khi PCM thay đổi pha, đối lưu tự nhiên được tạo ra do sự chênh lệch về khối lượng riêng giữa pha rắn và pha lỏng và tác động của trọng lực. Để mô phỏng hiện tượng này, phương trình Navier - Stokes và các phương trình năng lượng được giải bằng phương pháp số với một số giả thiết được đưa ra dưới đây:

- Chất lỏng không nén được;
- Tính chất nhiệt động học giữa trạng thái rắn và lỏng không thay đổi và bằng nhau;
- Đề bỏ qua ảnh hưởng của sự giãn nở của PCM giả thiết áp quy nhiệt được điền đầy bằng PCM lỏng và sau đó được làm mát để hóa rắn.

Dựa trên các giả thiết đã đề cập ở trên và sử dụng mô hình Entanpi để tính đến hiện tượng thay đổi pha [4, 5], khối lượng, động lượng và năng lượng của hệ có thể được viết dưới dạng:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} \nabla \cdot (\rho \vec{u}) = 0 \tag{1}$$

$$\frac{\partial (\rho \vec{u})}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \vec{u} \vec{u}) + S \vec{u} = -\vec{\nabla} p_d + \mu \nabla^2 \vec{u} + \rho \vec{g} \tag{2}$$

$$\frac{\partial \rho h}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \vec{u} C_p T) = \nabla \cdot (k \nabla T) \tag{3}$$

Trong đó, \vec{u} là vận tốc của hỗn hợp chất lỏng - rắn, được định nghĩa là vận tốc chất lỏng trung bình trên một thể tích đại diện có thể chứa cả pha lỏng và pha rắn. Entanpi h bao gồm cả các thành phần nhiệt hiện và nhiệt ẩn xác định theo phương trình (4).

Mối quan hệ giữa enthanpy và nhiệt độ được thể hiện trong các phương trình sau:

$$h = h_{ref} + \int_{T_{ref}}^T C_p dT \text{ và } \Delta h = MF \times \Delta H_m \tag{4}$$

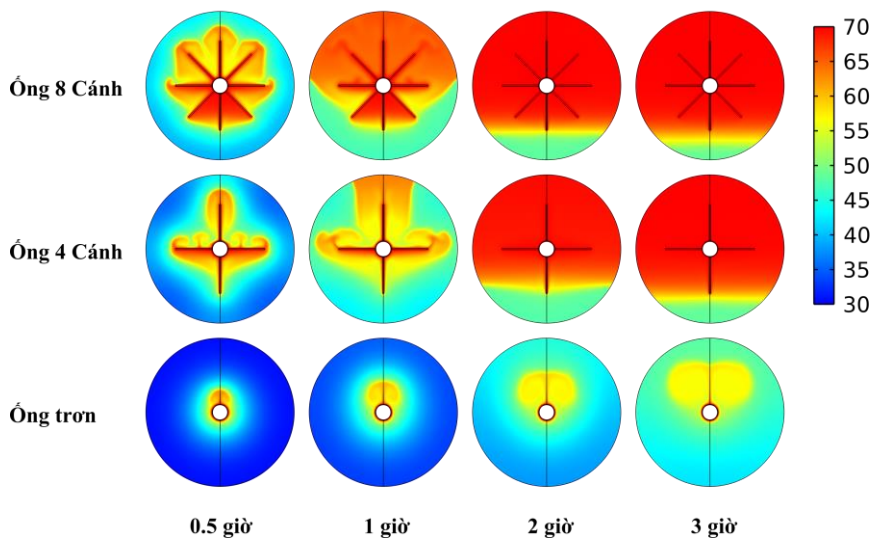
Với MF là hệ số nóng chảy là tỷ số giữa thể tích PCM lỏng và thể tích PCM rắn và được xác định theo công thức (5):

$$MF = \begin{cases} 0 & \text{Khi } T < T_{sl} \\ \frac{T - T_s}{T_l - T_s} & \text{Khi } T_s < T < T_l \\ 1 & \text{Khi } T_l < T \end{cases} \tag{5}$$

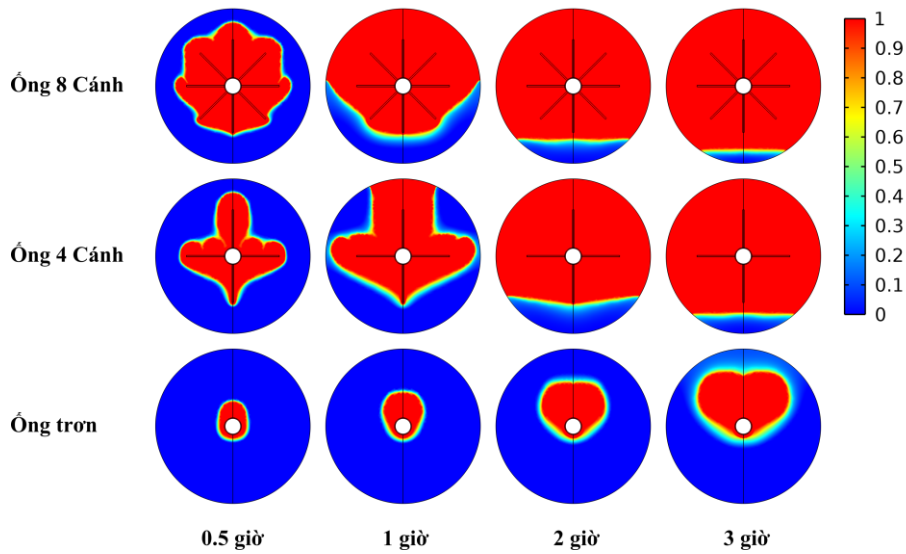
Cân bằng nhiệt chất lỏng với ống:

$$\frac{\partial \rho h}{\partial t} = \nabla \cdot (k \nabla T) + h_a (T_f - T) \tag{6}$$

Trong đó, h_a là hệ số trao đổi nhiệt đối lưu, T_f là nhiệt độ của chất lỏng trong ống.



Hình 2. Phân bố nhiệt độ tại mặt cắt 0,5L theo thời gian



Hình 3. Phân bố pha rắn - lỏng của PCM tại mặt cắt 0,5L theo thời gian

Nếu bỏ qua tổn thất nhiệt từ ống quy ra môi trường bên ngoài, thì lượng nhiệt lưu trữ trong ống đúng bằng nhiệt lượng mà nguồn cấp nhiệt truyền cho PCM. Ở điều kiện như vậy thì tốc độ cấp nhiệt được xác định theo công thức:

$$Q = \int_{t_0}^t [m_{PCM} C_{p,PCM} (T - T_i) + m_{PCM} MF \Delta H_m] dt \quad (7)$$

Trong đó, m_{PCM} là khối lượng của PCM ở thể rắn, $C_{p,PCM}$ là nhiệt dung riêng của PCM, T_i và T là nhiệt độ ban đầu và nhiệt độ tại thời điểm t của PCM.

3. Kết quả và thảo luận

Trong nghiên cứu này, mô hình ống quy nhiệt được đơn giản thành một mặt cắt 2D để giảm thời gian và khối lượng tính toán trong quá trình mô phỏng. Một mô hình 2D của mặt cắt ngang tại vị trí 0,5L được xây dựng trên phần mềm CFD với số phần tử lưới (mesh) lần lượt là 32500; 21500 và 18500; bước thời gian 0,5s, 1s và 2s được thử nghiệm để đánh giá sự hội tụ của mô hình mô phỏng. Từ các kết quả từ các lưới và bước thời gian khác nhau tác giả lựa chọn số phần tử lưới 21500 và bước thời gian là 1s để áp dụng cho mô hình mô phỏng. Nhiệt độ của PCM ở thời điểm ban đầu ($t=0s$) là 30°C lúc này toàn bộ thể tích PCM ở thể rắn. Nhiệt độ tại bề mặt trong của ống lấy theo thí nghiệm là 70°C. Thời gian mô phỏng lấy theo thời gian đã thực hiện trong thí nghiệm là 10 giờ.

Hình 2 và Hình 3 thể hiện sự phân bố nhiệt độ và pha của PCM theo thời gian tương ứng với các trường hợp: Ống 8 cánh, ống 4 cánh, và ống trơn. Kết quả mô phỏng

chỉ ra thấy phần thể tích PCM nằm ở phía trên ống tan nhanh hơn so với phần thể tích PCM ở phía dưới ống. Đây là hệ quả từ dòng đối lưu tự nhiên của PCM lỏng khi khối lượng riêng của nó thay đổi theo nhiệt độ.

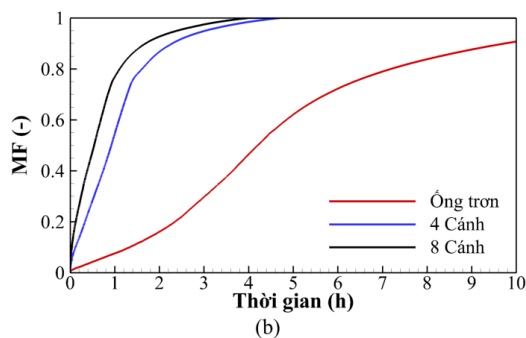
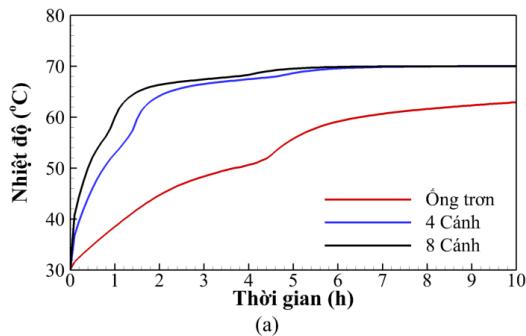
Tại cùng một thời điểm ($t=0,5$ giờ), ở mô hình ống 8 cánh, PCM có nhiệt độ cao hơn và thể tích PCM chuyển từ pha rắn sang pha lỏng cũng nhiều hơn so với các mô hình ống 4 cánh và ống trơn. Thể tích PCM chuyển từ pha rắn sang pha lỏng sau 3 giờ ở mô hình ống 8 cánh là khoảng 95%, trong khi ở mô hình ống 4 cánh và ống trơn thể tích chuyển pha này lần lượt là 90% và 30%.

Các đường nhiệt độ trung bình và hệ số nóng chảy MF của PCM theo thời gian được thể hiện trên Hình 4. Nhiệt độ trung của PCM ở trường hợp ống trơn sau 10h chỉ đạt 60°C, giá trị này thấp hơn so với trường hợp ống 4 cánh và ống 8 cánh. Với ống 4 cánh nhiệt độ của PCM đạt 70°C chỉ sau 6 giờ, trong khi đó để đạt được nhiệt độ này mô hình ống 8 cánh chỉ cần 5 giờ (Hình 4a).

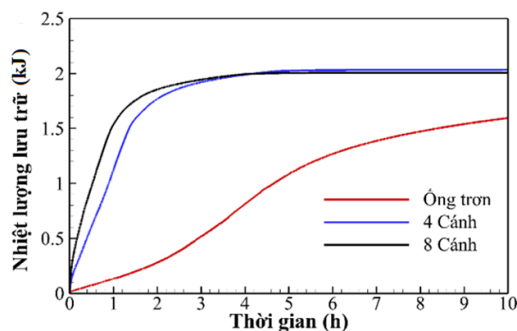
Từ Hình 4b cho thấy sau 10 giờ làm việc với ống trơn chỉ có 90% thể tích PCM chuyển sang pha lỏng, trong khi đó với ống có cánh toàn bộ thể tích PCM chuyển thành pha lỏng sau 4,6 giờ và 4 giờ.

Nhiệt lượng lưu trữ của ống quy nhiệt theo thời gian được thể hiện trên Hình 5. Từ kết quả cho thấy nhiệt lượng lưu trữ được của trường hợp ống trơn sau 10 giờ là 1,6kJ, của trường hợp ống 4 cánh sau 4,6 giờ là 2,0kJ, và của trường hợp ống 8 cánh sau 4 giờ là 2,0kJ. Điều này có nghĩa là khả năng lưu trữ nhiệt của ống quy nhiệt sử dụng ống trơn là 0,044W, sử dụng ống 4 cánh

là 0,121W và sử dụng ống 8 cánh là 0,139W. Như vậy tăng số cánh gắn trên ống từ 4 lên 8 làm tăng khả năng lưu trữ nhiệt của ắc quy nhiệt từ 173% tới 213% so với ắc quy nhiệt sử dụng ống trơn. Do đó, một ắc quy nhiệt sử dụng ống có cánh sẽ cần thời gian “sạc” ngắn hơn so với ống có cánh. Như vậy trong 10 giờ có thể sạc được cho ≈ 02 ắc quy.



Hình 4. Nhiệt độ (a) và MF (b) theo thời gian



Hình 5. Nhiệt lượng lưu trữ theo thời gian

5. Kết luận

Nghiên cứu này thực hiện việc xây dựng mô hình mô phỏng số một ắc quy nhiệt sử dụng vật liệu thay đổi pha (PCM) để lưu trữ năng lượng với 3 trường hợp ống trơn, ống 4 cánh và ống 8 cánh.

Kết quả mô phỏng chỉ ra rằng với số cánh được sử dụng là 4 sẽ làm tăng khả năng lưu trữ nhiệt lên 175% và nếu số cánh là 8 sẽ làm tăng khả năng lưu trữ nhiệt lên 213% so với ống trơn.

Cũng nhận rõ từ Hình 2 và 3 rằng sự khác biệt về

phân bố nhiệt độ và pha rắn - lỏng có nhiều ý nghĩa trong thời gian đầu của quá trình tích nhiệt cho ắc quy, sau khoảng 2 giờ thì sự khác biệt về số cánh không còn rõ ràng như trước đó. Tăng số cánh trên ống sẽ làm tăng chi phí vật liệu, khó khăn cho gia công, lắp đặt, gây nên những tổn thất phụ trong quá trình khai thác. Dựa trên đánh giá các tác động này người thiết kế có thể lựa chọn số cánh phù hợp trong quá trình thiết kế ắc quy nhiệt.

Lời cảm ơn

Nghiên cứu này được tài trợ bởi Trường Đại học Hàng hải Việt Nam trong đề tài mã số: **DT22-23.42**

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] D. Rozanna, T. G. Chuah, A. Salmiah, T. S. Y. Choong, và M. Sa'ari (2005), *Fatty Acids as Phase Change Materials (PCMs) for Thermal Energy Storage: A Review*, Int J Green Energy, Vol.1(4), pp.495-513.
doi: 10.1081/ge-200038722.
- [2] D. Lefebvre, F. H. Tezel (2017), *A review of energy storage technologies with a focus on adsorption thermal energy storage processes for heating applications*, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol.67, pp.116-125.
doi: 10.1016/J.RSER.2016.08.019.
- [3] N. Yu, R. Z. Wang, L. W. Wang (2013), *Sorption thermal storage for solar energy*, Progress in Energy and Combustion Science, Vol.39(5), pp.489-514.
doi: 10.1016/j.pecs.2013.05.004 Review.
- [4] Dương Xuân Quang và Đặng Văn Trường (2021), *Nghiên cứu thử nghiệm quá trình lưu trữ nhiệt của ắc quy nhiệt sử dụng vật liệu thay đổi pha*, Tạp chí Khoa học Công nghệ Hàng hải, Số 68, tr.44-48.
- [5] Dương Xuân Quang và Nguyễn Mạnh Chiêu (2022), *Phân tích nhiệt động lực học ắc quy nhiệt bằng phương pháp mô phỏng CFD*, Tạp chí Cơ khí Việt Nam, Số 5, tr.24-27.
- [6] E. K. Kalinin, G. A. Dreitser (1998), *Heat Transfer Enhancement in Heat Exchangers*, Advances in Heat Transfer, Vol.3, pp.159-332.
doi: 10.1016/S0065-2717(08)70242-9.

| | |
|--------------------|------------|
| Ngày nhận bài: | 18/12/2022 |
| Ngày nhận bản sửa: | 04/01/2023 |
| Ngày duyệt đăng: | 09/01/2023 |

TÍNH TOÁN DAO ĐỘNG CỦA MÔ HÌNH Ô TÔ
CÓ XÉT ĐẾN PHẦN TỬ ĐÀN NHÓT CẤP PHÂN SỐ
CALCULATE VIBRATION OF CAR MODEL IN WHICH VISCOELASTIC
MATERIAL CONTAIN FRACTIONAL ORDER DERIVATIVES

NGUYỄN ĐÌNH KHIÊM, HOÀNG MẠNH CƯỜNG*

Viện Cơ khí, Trường Đại học Hàng hải Việt Nam

*Email liên hệ: cuonghm@vamaru.edu.vn

Tóm tắt

Trong bài báo này, nghiên cứu phương pháp tính toán số, tìm nghiệm của các hệ phương trình vi phân có chứa các thành phần đạo hàm cấp không nguyên. Ban đầu, một công thức định nghĩa về đạo hàm cấp phân số được trình bày, dựa vào định nghĩa này, một công thức xấp xỉ tính toán đạo hàm cấp phân số đã được xây dựng và lập trình tính toán. Sử dụng chương trình tính toán xây dựng được để tính toán dao động của mô hình ô tô trong đó có kể đến các thành phần đàn nhót cấp phân số.

Từ khóa: Đạo hàm cấp phân số, dao động, phương pháp số.

Abstract

This paper focus on research of numerical methods for solving systems of differential equations that contain fractional order derivatives. At first, the definitions of fractional order derivatives were presented, based on these definitions, an approximation formula for calculating fractional order derivatives was built and programmed. Finally, the program that has been built are used to calculate vibration of car model in which viscoelastic material contain fractional order derivatives.

Keywords: Fractional-order derivative, vibration, numerical method.

1. Mở đầu

Lý thuyết đạo hàm cấp không nguyên đã được đưa ra từ cuối thế kỷ XIX. Lúc đầu lý thuyết này là một lĩnh vực thuần túy của toán học. Tuy nhiên, một vài chục năm gần đây, với sự ra đời của nhiều vật liệu mới, người ta thấy rằng, đạo hàm và tích phân cấp phân số rất phù hợp cho sự mô tả tính chất của các vật liệu này [16, 18].

Có nhiều ứng dụng của đạo hàm cấp phân số trong lĩnh vực cơ học đã được quan tâm nghiên cứu,

trong các công trình [1, 4, 13, 14] đã đề cập đến việc thiết lập mô hình của tính chất cơ học các vật liệu. Các công trình [7, 9, 11] nghiên cứu mô hình trạng thái của những vật liệu đàn nhót và nhót dẻo dưới ảnh hưởng của ngoại lực. Các công trình [5] mô tả sự tắt dần của những hệ cơ học, [8] nghiên cứu mô hình của các hệ đàn nhót,...

Việc mô hình hóa và mô tả tính chất của các cơ hệ thông qua đạo hàm cấp phân số, tất nhiên, sẽ dẫn tới những phương trình vi phân có chứa các thành phần đạo hàm cấp phân số và dẫn tới sự cần thiết phải giải những phương trình như vậy.

Trong bài báo này, nhóm tác giả tập trung nghiên cứu tính toán các đạo hàm cấp không nguyên bằng phương pháp số, kết hợp với thuật toán Runge-Kutta bậc 4 thiết lập một chương trình tính toán số, tìm nghiệm của các hệ phương trình vi phân có chứa các thành phần đạo hàm cấp không nguyên. Sử dụng chương trình thiết lập được, tính toán dao động của mô hình ô tô, trong đó có kể đến các thành phần đàn nhót cấp phân số.

2. Đạo hàm cấp phân số trong các hệ dao động

2.1. Đạo hàm cấp phân số trong các phương trình động lực học

Xét mô hình động lực học có dạng như Hình 1, trong đó khối lượng m được liên kết với nền bằng một lò xo tuyến tính độ cứng k và một thành phần cản nhót cấp α ($0 < \alpha < 1$) độ cản c , chịu tác dụng của lực $F(t)$. Áp dụng định luật 2 Newton, ta có:

$$m\ddot{q}(t) = F(t) - R_1(t) - R_2(t) \quad (1)$$

Theo [19], lực đàn hồi R_1 và lực cản nhót R_2 là lực cản của cản nhót, được cho bởi công thức:

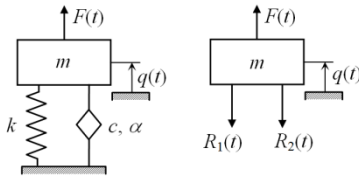
$$R_1(t) = kq(t), R_2(t) = cD_t^\alpha q(t) \quad (2)$$

Thay (2) vào (1), ta được phương trình động lực học có dạng:

$$m\ddot{q}(t) + cD_t^\alpha q(t) + kq(t) = F(t) \quad (3)$$

Phương trình (3) là phương trình động lực học có chứa đạo hàm cấp phân số, từ đó cho thấy, trong các phương trình động lực học, đạo hàm cấp phân số xuất hiện là do thành phần cản cấp phân số có mặt

trong các mô hình dao động.



Hình 1. Mô hình dao động có cản nhớt cấp phân số

Để giải được các hệ phương trình vi phân có dạng như phương trình (3) bằng các phương pháp số, ta cần phải tính được các thành phần đạo hàm cấp không nguyên trong các phương trình đó.

2.2. Công thức tính toán số đối với đạo hàm cấp phân số

Theo tài liệu [10] đạo hàm cấp α , của hàm $f(t)$, được cho bởi công thức:

$$D_t^\alpha f(t) = \frac{1}{\Gamma(1-\alpha)} \int_0^t \frac{\dot{f}(\tau) d\tau}{(t-\tau)^\alpha} + \frac{f(0)}{\Gamma(1-\alpha)} t^{-\alpha} \quad (4)$$

Giả sử $f(t)$ là hàm liên tục trong khoảng $[0, T]$, ta chia lưới khoảng trên với bước chia h , với các điểm chia $t_0, t_1, \dots, t_i, \dots$ như sau:

$$t_0 = 0, t_1, \dots, t_i, t_{i+1} = t_i + h, \dots \quad (5)$$

Từ (4) ta có đạo hàm cấp α của $f(t)$ tại thời điểm t_i có dạng:

$$D_t^\alpha f(t_i) = \frac{1}{\Gamma(1-\alpha)} \int_0^{t_i} \frac{\dot{f}(\tau) d\tau}{(t_i-\tau)^\alpha} + \frac{f(0)}{\Gamma(1-\alpha)} t_i^{-\alpha} \quad (6)$$

Xấp xỉ thành phần tích phân trong (6) bằng công thức hình thang [12], ta được:

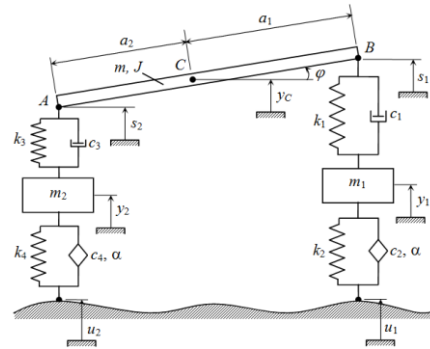
$$D_t^\alpha f(t_i) = \frac{1}{\Gamma(1-\alpha)} f(t_0) t_i^{-\alpha} + \frac{1}{\Gamma(2-\alpha)} \left(\dot{f}(t_0) t_i^{1-\alpha} + \frac{h}{2} \dot{f}(t_0) \cdot (t_i - t_0)^{1-\alpha} + h \sum_{j=1}^{i-1} \dot{f}(t_j) \cdot (t_i - t_j)^{1-\alpha} \right) \quad (7)$$

Công thức (7) cho ta xấp xỉ của đạo hàm cấp α , tại thời điểm t_i .

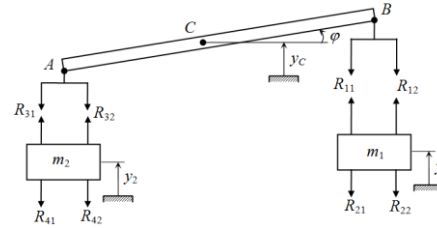
3. Phương trình động lực học của hệ dao động ô tô có kể đến phần tử cản cấp phân số

Xét mô hình dao động của ô tô như Hình 2, trong đó thân xe có khối lượng m được xem như một vật rắn chuyển động song phẳng, gọi J là mô men quán tính của thân xe đối trục đi qua khối tâm C , các bánh xe được mô hình hóa bằng các vật rắn có khối lượng m_1 và m_2 . Hệ thống treo của ô tô được mô hình hóa bằng các lò xo k_1, k_3 và các thành phần cản nhớt c_1, c_3 .

Liên kết giữa các bánh xe và mặt đường được mô hình hóa bởi các lò xo k_2, k_4 và các thành phần cản nhớt cấp phân số α ($0 < \alpha < 1$) c_2, c_4 . Biên dạng của mặt đường được mô hình hóa bởi các dịch chuyển u_1 và u_2 .



Hình 2. Mô hình dao động của ô tô



Hình 3. Các lực tác dụng lên hệ dao động

Bỏ qua dịch chuyển theo phương ngang của thân xe, khi đó các lực tác dụng lên hệ được cho như trên Hình 3, trong đó các thành phần lực đàn hồi $R_{11}, R_{21}, R_{31}, R_{41}$ và lực cản $R_{12}, R_{22}, R_{32}, R_{42}$, được cho bởi công thức:

$$\begin{cases} R_{11} = k_1(y_C + a_1\varphi - y_1) \\ R_{12} = c_1(\dot{y}_C + a_1\dot{\varphi} - \dot{y}_1) \end{cases} \quad (8)$$

$$\begin{cases} R_{21} = k_2(y_1 - u_1) \\ R_{22} = c_2 D^\alpha (y_1 - u_1) \end{cases} \quad (9)$$

$$\begin{cases} R_{31} = k_3(y_C - a_2\varphi - y_2) \\ R_{32} = c_3(\dot{y}_C - a_2\dot{\varphi} - \dot{y}_2) \end{cases} \quad (10)$$

$$\begin{cases} R_{41} = k_4(y_2 - u_2) \\ R_{42} = c_4 D^\alpha (y_2 - u_2) \end{cases} \quad (11)$$

Áp dụng định luật 2 Newton cho các bánh xe, ta có:

$$m_1 \ddot{y}_1 = R_{11} + R_{12} - R_{21} - R_{22} \quad (12)$$

$$m_2 \ddot{y}_2 = R_{31} + R_{32} - R_{41} - R_{42} \quad (13)$$

Áp dụng nguyên lý D'Alembert cho thân xe, ta có:

$$m \ddot{y}_C = -R_{11} - R_{12} - R_{31} - R_{32} \quad (14)$$

$$J \ddot{\varphi} = -a_1(R_{11} + R_{12}) + a_2(R_{31} + R_{32}) \quad (15)$$

Thay (8), (9), (10), (11) vào các phương trình (12), (13), (14) và (15), ta được hệ các phương trình mô tả dao động của ô tô có dạng:

$$m\ddot{y}_C + (c_1 + c_3)\dot{y}_C + (c_1a_1 - c_3a_2)\dot{\varphi} - c_1\dot{y}_1 - c_3\dot{y}_2 + (k_1 + k_3)y_C + (k_1a_1 - k_3a_2)\varphi - k_1y_1 - k_3y_2 = 0 \quad (16)$$

$$J\ddot{\varphi} = -a_1k_1(y_C + a_1\varphi - y_1) - a_1c_1(\dot{y}_C + a_1\dot{\varphi} - \dot{y}_1) + a_2k_3(y_C - a_2\varphi - y_2) + a_2c_3(\dot{y}_C - a_2\dot{\varphi} - \dot{y}_2) \quad (17)$$

$$m_1\ddot{y}_1 - c_1\dot{y}_C - c_1a_1\dot{\varphi} + c_1\dot{y}_1 - k_1y_C - k_1a_1\varphi + (k_1 + k_2)y_1 - k_2u_1 = -c_2D^\alpha(y_1 - u_1) \quad (18)$$

$$m_2\ddot{y}_2 - c_3\dot{y}_C + c_3a_2\dot{\varphi} + c_3\dot{y}_2 - k_3y_C + k_3a_2\varphi + (k_3 + k_4)y_2 - k_4u_2 = -c_4D^\alpha(y_2 - u_2) \quad (19)$$

Các phương trình (16), (17), (18) và (19) cho ta một hệ phương trình vi phân cấp 2, để đưa hệ này về hệ phương trình vi phân cấp 1, ta đặt:

$$\mathbf{q} = [y_C, \varphi, y_1, y_2, \dot{y}_C, \dot{\varphi}, \dot{y}_1, \dot{y}_2]^T \quad (20)$$

Khi đó ta được hệ phương trình vi phân có dạng:

$$\dot{\mathbf{q}} = \mathbf{A}\mathbf{q} + \mathbf{D} + \mathbf{U} = \mathbf{f}(t, \mathbf{u}, \mathbf{q}, D^\alpha q_3, D^\alpha q_4, D^\alpha u_1, D^\alpha u_2) \quad (21)$$

Trong đó:

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} \mathbf{0}_{4 \times 4} & \mathbf{E}_{4 \times 4} \\ \mathbf{A}_1 & \mathbf{A}_2 \end{bmatrix}, \mathbf{u} = \begin{bmatrix} u_1 \\ u_2 \end{bmatrix} \quad (22)$$

$$\mathbf{A}_1 = - \begin{bmatrix} \frac{k_1 + k_3}{m} & \frac{k_1a_1 - k_3a_2}{m} & -\frac{k_1}{m} & -\frac{k_3}{m} \\ \frac{k_1a_1 - k_3a_2}{J} & \frac{k_1a_1^2 + k_3a_2^2}{J} & -\frac{k_1a_1}{J} & \frac{k_3a_2}{J} \\ -\frac{k_1}{m_1} & -\frac{k_1a_1}{m_1} & \frac{k_1 + k_2}{m_1} & 0 \\ -\frac{k_3}{m_2} & \frac{k_3a_2}{m_2} & 0 & \frac{k_3 + k_4}{m_2} \end{bmatrix} \quad (23)$$

$$\mathbf{A}_2 = - \begin{bmatrix} \frac{c_1 + c_3}{m} & \frac{c_1a_1 - c_3a_2}{m} & -\frac{c_1}{m} & -\frac{c_3}{m} \\ \frac{c_1a_1 - c_3a_2}{J} & \frac{c_1a_1^2 + c_3a_2^2}{J} & -\frac{c_1a_1}{J} & \frac{c_3a_2}{J} \\ -\frac{c_1}{m_1} & -\frac{c_1a_1}{m_1} & \frac{c_1}{m_1} & 0 \\ -\frac{c_3}{m_2} & \frac{c_3a_2}{m_2} & 0 & \frac{c_3}{m_2} \end{bmatrix} \quad (24)$$

$$\mathbf{D} = \begin{bmatrix} \mathbf{0}_{6 \times 1} & -\frac{c_2}{m_1}D^\alpha q_3 & -\frac{c_4}{m_2}D^\alpha q_4 \end{bmatrix}^T \quad (25)$$

$$\mathbf{U} = \begin{bmatrix} \mathbf{0}_{6 \times 1}, \frac{k_2u_1}{m_1} + \frac{c_2D^\alpha u_1}{m_1}, \frac{k_4u_2}{m_2} + \frac{c_4D^\alpha u_2}{m_2} \end{bmatrix}^T \quad (26)$$

Hệ phương trình (21), là một hệ phương trình vi phân có các thành phần đạo hàm cấp phân số. Việc giải hệ phương trình này bằng phương pháp giải tích là hết sức khó khăn và việc sử dụng các phương pháp tính toán số quen thuộc cũng không thể áp dụng được mà cần phải được cải tiến cho phù hợp.

4. Phương pháp số và kết quả mô phỏng

4.1. Phương pháp số giải hệ phương trình vi phân có thành phần đạo hàm cấp không nguyên

Có nhiều thuật toán số có thể sử dụng để giải các hệ phương trình vi phân, trong phần này, nghiên cứu cải tiến phương pháp Runge-Kutta bậc 4 tính toán gần đúng nghiệm của các phương trình vi phân có các thành phần đạo hàm cấp phân số. Xét hệ phương trình vi phân có dạng như phương trình (21), theo tài liệu [12], để tìm nghiệm của hệ trong khoảng $t = [0, T]$, ta chia lưới khoảng trên thành n phần với các điểm chia như sau:

$$t_0 = 0, t_1, \dots, t_i, t_{i+1} = t_i + h, \dots, t_n = T \quad (27)$$

Khi đó, nghiệm gần đúng tại thời điểm t_{i+1} , được tính theo công thức sau:

$$\mathbf{q}_{i+1} = \mathbf{q}_i + \frac{h}{6}(\mathbf{k}_1 + 2\mathbf{k}_2 + 2\mathbf{k}_3 + \mathbf{k}_4) \quad (28)$$

Trong đó:

$$\mathbf{q}_i = \mathbf{q}(t_i), \mathbf{q}_{i+1} = \mathbf{q}(t_{i+1}) = \mathbf{q}(t_i + h) \quad (29)$$

$$\mathbf{k}_1 = \mathbf{f} \left(t_i, \mathbf{u}(t_i), \mathbf{q}_i, D^\alpha q_3(t_i), D^\alpha q_4(t_i), D^\alpha u_1(t_i), D^\alpha u_2(t_i) \right) \quad (30)$$

$$\mathbf{k}_2 = \mathbf{f} \left(t_i + \frac{h}{2}, \mathbf{u}(t_i + \frac{h}{2}), \mathbf{q}_i + \frac{h}{2}\mathbf{k}_1, D^\alpha q_3(t_i + \frac{h}{2}), D^\alpha q_4(t_i + \frac{h}{2}), D^\alpha u_1(t_i + \frac{h}{2}), D^\alpha u_2(t_i + \frac{h}{2}) \right) \quad (31)$$

$$\mathbf{k}_3 = \mathbf{f} \left(t_i + \frac{h}{2}, \mathbf{u}(t_i + \frac{h}{2}), \mathbf{q}_i + \frac{h}{2}\mathbf{k}_2, D^\alpha q_3(t_i + \frac{h}{2}), D^\alpha q_4(t_i + \frac{h}{2}), D^\alpha u_1(t_i + \frac{h}{2}), D^\alpha u_2(t_i + \frac{h}{2}) \right) \quad (32)$$

$$\mathbf{k}_4 = \mathbf{f} \left(t_i + h, \mathbf{u}(t_i + h), \mathbf{q}_i + h\mathbf{k}_3, D^\alpha q_3(t_i + h), D^\alpha q_4(t_i + h), D^\alpha u_1(t_i + h), D^\alpha u_2(t_i + h) \right) \quad (33)$$

Trong các công thức (30), (31), (32) và (33), các thành phần đạo hàm cấp α (với $0 < \alpha < 1$) của q_3, q_4, u_1 và u_2 tại các thời điểm t_i và $t_i + h/2$ cần phải được tính theo công thức (7).

Dựa trên thuật toán cải tiến này, nhóm tác giả đã xây dựng được chương trình tính toán số, tìm nghiệm của các hệ phương trình vi phân có chứa các thành phần đạo hàm cấp phân số.

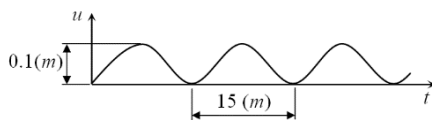
4.2. Kết quả mô phỏng số

Để tính toán số, các tham số của hệ thống được cho như trong Bảng 1.

Bảng 1. Giá trị các tham số của hệ dao động

| Tham số | Giá trị | Đơn vị |
|---------|---------|------------------|
| m | 1395 | kg |
| J | 642 | kgm ² |
| m_1 | 80 | kg |
| m_2 | 80 | kg |
| c_1 | 1730 | Ns/m |
| c_3 | 1730 | Ns/m |
| c_2 | 10 | Ns/m |
| c_4 | 10 | Ns/m |
| k_1 | 43436 | N/m |
| k_3 | 54294 | N/m |
| k_2 | 284000 | N/m |
| k_4 | 520000 | N/m |
| a_1 | 1,30556 | m |
| a_2 | 1,04444 | m |

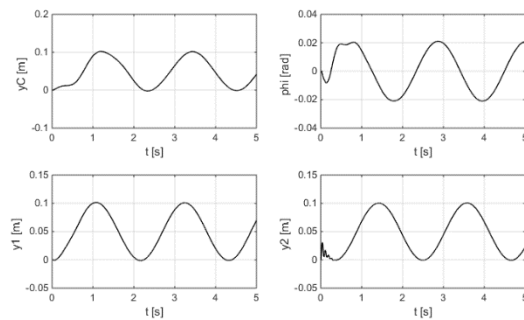
Biên dạng mặt đường là một hàm điều hòa có dạng như Hình 4.



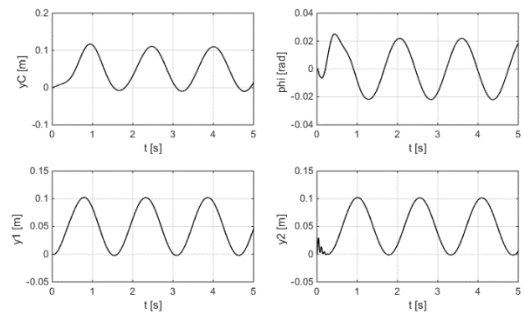
Hình 4. Biên dạng mặt đường

Với các số liệu như trên, sau khi tính toán, ta được kết quả dao động của xe trong một số tốc độ chuyển động được cho trong các Hình 5, 6, 7 và 8 trong đó, đồ thị của y_1 và y_2 theo thời gian, lần lượt mô tả dao động của trục bánh xe trước và bánh xe sau, đồ thị y_C mô tả dao động theo phương thẳng đứng của khối tâm thân xe và đồ thị φ mô tả dao động lắc của thân xe so với phương nằm ngang.

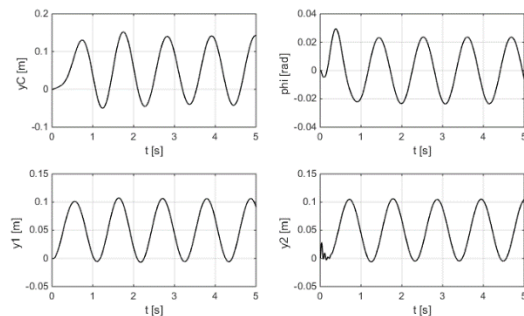
Từ các kết quả tính toán cho ta thấy, khi chuyển động với tốc độ 25km/h, khối tâm C của thân xe dao động lên xuống với biên độ 0,052m, thân xe dao động lắc với biên độ 0,021rad, khi chuyển động với tốc độ 35km/h, khối tâm C dao động với biên độ



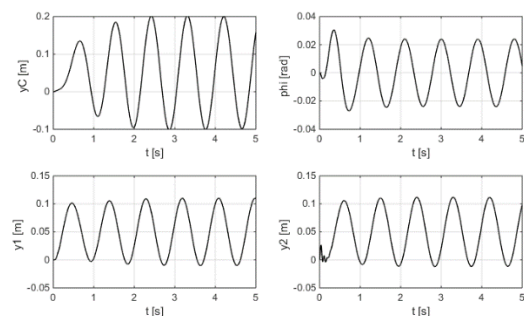
Hình 5. Dao động của xe ứng với tốc độ $v = 25\text{km/h}$



Hình 6. Dao động của xe ứng với tốc độ $v = 35\text{km/h}$



Hình 7. Dao động của xe ứng với tốc độ $v = 50\text{km/h}$



Hình 8. Dao động của xe ứng với tốc độ $v = 60\text{km/h}$

0,065m, thân xe dao động với biên độ 0,022rad, khi chuyển động với tốc độ 50km/h, khối tâm C dao động với biên độ 0,091(m), thân xe dao động với biên độ 0,023rad, khi chuyển động với tốc độ 60km/h, khối tâm C dao động với biên độ 0,15m, thân xe dao động với biên độ 0,024rad. Vậy, với tốc độ càng cao, thì biên độ và tần số dao động của thân

xe càng lớn, do đó khi di chuyển trên mặt đường có biên dạng điều hòa, ta cần giảm tốc độ để hạn chế ảnh hưởng không tốt đến người trên xe.

5. Kết luận

Trong bài báo này, nhóm tác giả đã nghiên cứu xây dựng chương trình tính toán số, tìm nghiệm của các hệ phương trình vi phân có chứa các thành phần đạo hàm cấp không nguyên, sử dụng chương trình thiết lập được, đã tính toán dao động của mô hình dao động ô tô, trong đó có kể đến các thành phần cản nhớt cấp phân số. Các kết quả thu được là các đồ thị mô tả dao động của thân xe và bánh xe trong một số tốc độ di chuyển khác nhau trên mặt đường mấp mô có dạng một hàm điều hòa.

Lời cảm ơn

Nghiên cứu này được tài trợ bởi Trường Đại học Hàng hải Việt Nam trong đề tài mã số: **DT22-23.47**.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Caputo, M., Mainardi, F. (1971), *Linear models of dissipation in anelastic solids*, Rivista del Nuovo Cimento, Vol.1, pp.161-198.
- [2] Oldham, K.B., Spanier, J. (1974), *The Fractional Calculus*, Academic, New York.
- [3] Lavoie, J. L., Osler, T. J. and Tremblay, R. (1976), *Fractional derivatives and special functions*, SIAM Rev., Vol.18, pp.240-268.
- [4] Torvik, P.J., Bagley, R.L. (1984), *On the appearance of the fractional derivative in the behavior of real materials*, J. Appl. Mech., Vol. 51, pp.294-298.
- [5] Gaul, L., Klein, P., Kempfle, S. (1991), *Damping description involving fractional operators*, Mech. Syst. Signal Process., Vol.5, pp.81-88.
- [6] Miller K. S. and Ross B. (1993), *An introduction to the Fractional Calculus and Fractional Differential Equations*, John Wiley & Sons Inc, New York.
- [7] Chern, J.-T. (1993), *Finite element modeling of viscoelastic materials on the theory of fractional calculus*, Ph.D. thesis, Pennsylvania State University.
- [8] Shaw, S., Warby, M.K., Whiteman, J.R. (1997), *A comparison of hereditary integral and internal variable approaches to numerical linear solid elasticity*, In: Proceedings of the XIII Polish Conference on Computer Methods in Mechanics, Poznan.
- [9] Diethelm, K., Freed, A.D. (1999), *The FracPECE subroutine for the numerical solution of differential equations of fractional order*, In: Heinzl, S., Plesser, T. (eds.) *Forschung und wissenschaftliches Rechnen: Beiträge zum Heinz-Billing-Preis 1998*, pp.57-71.
- [10] Podlubny, I. (1999), *Fractional Differential Equations*, Academic Press, San Diego.
- [11] Freed, A.D., Diethelm, K., Luchko, Y. (2002), *Fractional-order viscoelasticity (FOV): constitutive development using the fractional calculus (first annual report)*. Technical Memorandum 2002-211914, NASA Glenn Research Center, Cleveland.
- [12] Đinh Văn Phong (2006), *Phương pháp số trong cơ học*, NXB Khoa học và Kỹ thuật, Hà Nội.
- [13] Caputo, M., Mainardi, F. (2007), *A new dissipation model based on memory mechanism*, Pure Appl. Geophys., 91, pp.134-147 (1971); reprinted in *Fract. Calc. Appl. Anal.*, Vol.10, pp.310-323.
- [14] Caputo, M. (2008), *Linear models of dissipation whose Q is almost frequency independent - II*, Geophys. J. Roy. Astron. Soc., Vol.13, pp.529-539 (1967); reprinted in *Fract. Calc. Appl. Anal.*, Vol. 11, pp.4-14.
- [15] Baleanu D., et al (eds) (2012). *Fractional Dynamics and Control*, Springer, New York.
- [16] T. Kaczorek, K. Rogowski (2014), *Fractional linear systems and electrical circuits*, Printing House of Bialystok University of Technology, Bialystok.
- [17] Nguyen Van Khang, Bui Thi Thuy, Truong Quoc Chien (2016), *Resonance oscillation of third order forced van der Pol system with fractional order derivative*, ASME Journal of Computational and Nonlinear Dynamics, Vol.11, Issue 4, pp.0410301-0410305.
- [18] Boskovic M. C., Sekara T. M., Dakovic B., Lazarevic P. (2017), *Analysis of electrical circuits including fractional order elements*, IEEE-Proc. Of 6th Mediterranean Conference on embedded computing, Montenegro.
- [19] Nguyễn Văn Khang (2019), *Một vài ứng dụng đạo hàm cấp phân số trong cơ điện tử*, Tạp chí Kinh doanh và Công nghệ, Số 04/2019, tr.67-76.

| | |
|---------------------------|------------|
| Ngày nhận bài: | 08/12/2022 |
| Ngày nhận bản sửa lần 01: | 21/12/2022 |
| Ngày nhận bản sửa lần 02: | 06/01/2023 |
| Ngày duyệt đăng: | 09/01/2023 |

ẢNH HƯỞNG CỦA TIẾT PHA HÓA BỀN TRONG HỢP KIM ĐỒNG LÀM TĂNG CƯỜNG CHẤT LƯỢNG BỀ MẶT CÁNH BƠM GIẢM TÁC ĐỘNG CỦA HIỆN TƯỢNG XÂM THỰC

EFFECT OF PRECIPITATION STRENGTHENING IN COPPER ALLOYS ON IMPROVING IMPELLER SURFACE QUALITY TO REDUCES THE IMPACT OF CAVITATION

VŨ ANH TUẤN*, NGUYỄN HẢI YẾN

Khoa Cơ sở - Cơ bản, Trường Đại học Hàng hải Việt Nam

*Email liên hệ: anhtuan.cscb@vamaru.edu.vn

Tóm tắt

Bài báo này sẽ thảo luận về hiện tượng xâm thực trong cánh bơm và ảnh hưởng tiết pha hóa bền của hợp kim đồng nhằm tăng cường chất lượng bề mặt cánh bơm, giảm tác hại của hiện tượng xâm thực. Nghiên cứu được thực hiện trên hai hệ hợp kim Cu-Al-Fe và Cu-Al-Fe-Ni đã được xử lý nhiệt để tạo ra các tổ chức hóa bền. Dựa theo kết quả tổ chức tế vi chụp được từ kính hiển vi quang học, XRD, EDS và TEM, các pha Martensit và pha liên kim hình thành sẽ giúp tăng cường độ cứng và khả năng chống mài mòn của vật liệu.

Từ khóa: Hợp kim đồng, xâm thực, Martensit, cánh bơm.

Abstract

In this work, the cavitation phenomenon of impellers and the effect of durable phase deposition on improving the surface quality to reduce the impact of cavitation of copper alloys were investigated. The study was carried out on two copper alloys Cu-Al-Fe and Cu-Al-Fe-Ni which have been heat treatment to create durable phase deposition. Based on the results of optical microscope, XRD, EDS and TEM, the martensite and intermetallic phases formed were enhance the hardness and wear resistance of the material.

Keywords: Copper alloy, Cavitation, Martensite, impeller.

sẽ tăng lên do sự kết hợp của vận tốc theo phương tiếp tuyến và vận tốc dọc trục. Chất lỏng chuyển động theo cánh quạt và di chuyển tới mặt hút của cánh, hình thành sự chênh áp giữa mặt trước và mặt sau của cánh. Khi áp suất nhỏ hơn áp suất hơi, các bong bóng khí được hình thành và chuyển động cùng dòng chảy. Nếu được di chuyển đến các vùng có áp suất cao, các bong bóng khí sẽ bị nổ và tác động lên bề mặt gọi là hiện tượng xâm thực vật liệu [1-5]. Khi xảy ra hiện tượng xâm thực sẽ tác động lên máy bơm với ba hiện tượng cơ bản sau: (i) xói mòn - là sự sụp đổ của các bong bóng ở khu vực có áp suất cao hơn, gây ra ứng suất cục bộ rất lớn trên bề mặt dẫn tới hư hỏng cánh bơm. (ii) Tiếng ồn và rung động sinh ra là âm thanh của bong bóng sụp đổ dưới áp suất cao hơn. Vị trí tìm thấy thường ở trong và xung quanh đầu hút của máy bơm. (iii) giảm hiệu suất bơm là do các bong bóng khí hình thành trong các giai đoạn xung quanh bánh công tác, làm cản trở dòng chảy chất lỏng được bơm và làm giảm năng suất [6-7].



Hình 1. Xâm thực cánh bơm

1. Mở đầu

Xâm thực là hiện tượng vật lý phổ biến xảy ra trong các bộ phận của máy bơm, van, ống giảm tốc và giãn nở, tấm lỗ thoát nước, tuabin thủy lực và cánh quạt... Hiện tượng xâm thực trong máy bơm được hình thành tại vùng hút của máy bơm, dưới tác động quay của các cánh sẽ làm tăng dòng chảy chất lỏng ở khu vực gần bánh công tác. Khi đó, vận tốc dòng chảy

Xâm thực thường hình thành trên bề mặt của các chi tiết, do đó việc cải thiện tính chất vật liệu và nâng cao cơ tính bề mặt là một phương pháp hứa hẹn sẽ mang lại hiệu quả trong việc ngăn chặn các hư hỏng có thể xảy ra. Hai hướng nghiên cứu chính thường được thực hiện bao gồm: (i) chế tạo ra các nhóm vật liệu mới thay thế vật liệu truyền thống nhằm giảm khả năng xâm thực như nhóm thép hợp kim, hợp kim

Niken, hợp kim Titan; (ii) hoặc tập trung vào các quy trình xử lý nhiệt nhằm cải thiện chất lượng vật liệu có sẵn [8-10].

Hợp kim Đồng là loại vật liệu được sử dụng lâu đời để chế tạo cánh bơm do khả năng chống ăn mòn tuyệt vời trong môi trường chất lỏng. Các hợp kim đồng điển hình được sử dụng gồm Đồng thau Mangan, Đồng Mangan - Nhôm hay Đồng Niken - Nhôm [11-13]. Hợp kim Đồng Mangan thường chế tạo các cánh bơm có tốc độ quay thấp vì giá thành rẻ. Tuy nhiên, nhóm vật liệu này dễ bị ăn mòn khử vôi hóa trong môi trường nước biển, qua đó giảm mạnh tính chất cơ học của chúng. Hai nhóm còn lại đã được bổ sung thêm Mangan, Sắt, Niken giúp làm tăng khả năng chống mài mòn, ăn mòn nên thường sử dụng để chế tạo cánh bơm có kích thước lớn và tốc độ quay cao. Do hầu hết các loại cánh bơm được sản xuất bằng phương pháp đúc nên độ bền của chúng bị ảnh hưởng bởi tổ chức tế vi, kích thước hạt, số lượng mặt phân cách giữa các pha khác nhau, các pha hình thành và hình thái của chúng [14-15]. Một số nghiên cứu cũng chỉ ra rằng, khả năng chống xâm thực của vật liệu tăng lên khi độ cứng tăng [14, 16].

Dựa trên các kết quả thu được, hướng nghiên cứu chính trong bài báo này sẽ là sự kết hợp của hợp kim hóa và quy trình xử lý nhiệt áp dụng cho hệ hợp kim đồng nhằm hiện tượng xâm thực trên bề mặt cánh bơm ứng dụng trong một số chi tiết cơ khí, đóng tàu. Trong đó sẽ tiến hành phân tích các pha hóa bền và đánh giá ảnh hưởng của chúng tới khả năng xâm thực của vật liệu.

2. Hiện tượng tiết pha hóa bền trong hợp kim Cu-Al-Fe và Cu-Al-Fe-Ni

Hệ hợp kim đồng nhôm là các hợp kim dựa trên cơ sở Đồng với nguyên tố hợp kim chính là Nhôm chiếm từ 4-14%, ngoài ra còn có một số các nguyên tố khác (như Niken, Sắt,...) nhằm tạo ra các nhóm vật liệu có cơ tính khác nhau khi kết hợp với các phương pháp xử lý nhiệt. Sắt là nguyên tố hòa tan rất ít trong đồng. Khi tăng hàm lượng sắt sẽ hình thành các pha liên kim Fe₃Al nhỏ mịn, ở dạng cầu và phân bố đều

trong tổ chức. Qua đó giúp tăng độ bền, độ cứng và khả năng chịu mài mòn của hợp kim. Niken cũng là nguyên tố được hòa trộn trong hợp kim Đồng-Nhôm để góp phần tăng khả năng chịu mài mòn, chống ăn mòn và cải thiện tính công nghệ. Kết quả này được giải thích là do khi bổ sung thêm Niken sẽ làm thu hẹp mạnh vùng dung dịch rắn α , do đó có thể thực hiện hóa bền hợp kim bằng quy trình tôi và hóa già. Bên cạnh đó, nếu hợp kim hóa 5% Niken kết hợp với xử lý nhiệt phù hợp sẽ giúp tạo ra các pha liên kim có độ cứng cao, phân tán đều trên nền [19].

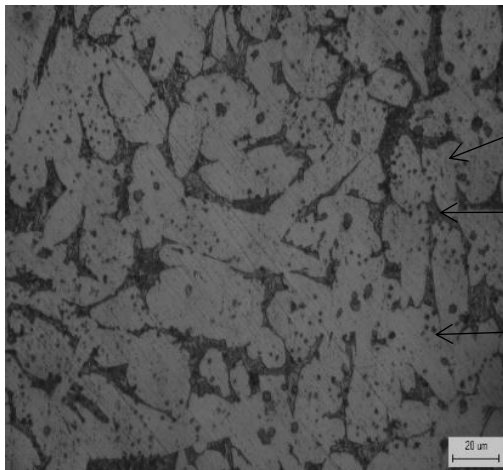
Quy trình xử lý nhiệt sau đúc thường được sử dụng để tạo ra được cơ tính theo yêu cầu dựa trên sự thay đổi kích thước hạt và sự hình thành các pha. Trong đó, pha hóa bền Mactenxit và các pha liên kim hình thành trong hợp kim Đồng thu được sau khi tôi và ram có vai trò quan trọng tới tính chất sau cùng của vật liệu. Ví dụ, đối với hợp kim Cu-10Al-5Fe-5Ni, khi nung tới vùng có tổ chức 100% β và làm nguội nhanh, các pha giàu sắt sẽ được tiết ra trước khi xảy ra chuyển biến Mactenxit có cấu trúc 9R. Khi tôi hợp kim tới vùng có tổ chức hai pha $\alpha+\beta$, pha β có mật độ cao hơn sẽ chuyển biến thành Mactenxit có cấu trúc 18R và 2H. Ngược lại với Mactenxit trong thép vừa cứng vừa bền, Mactenxit thu được sau khi tôi hợp kim Đồng là pha mềm. Tuy nhiên, sau khi tiến hành ram ở khoảng 500°C sẽ nhận được hiệu ứng hóa bền do các pha Mactenxit tiết ra pha liên kim Nhôm, Sắt, Niken, Fe₃Al, NiAl,... trên nền giàu đồng giúp tăng mạnh độ cứng và khả năng chống mài mòn của vật liệu [17-18]. Theo kết quả nghiên cứu về hiện tượng xâm thực, các pha Mactenxit hình thành trong vật liệu giúp tăng cường khả năng chống xói mòn do xâm thực. Ngoài ra, Mactenxit sẽ ngăn chặn sự hình thành và lan truyền các vết nứt từ ranh giới hạt, do đó các hạt không bị tách ra khỏi bề mặt trong quá trình xâm thực [20-21].

3. Thực nghiệm

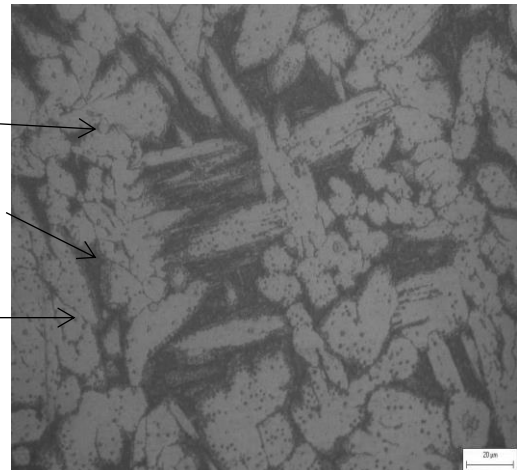
Nghiên cứu sử dụng hai mẫu hợp kim đúc Cu-Al-Fe và Cu-Al-Fe-Ni được nấu trong lò điện cảm ứng trung tần. Thành phần hóa học các mẫu cho trong Bảng 1.

Bảng 1. Thành phần hóa học của mẫu

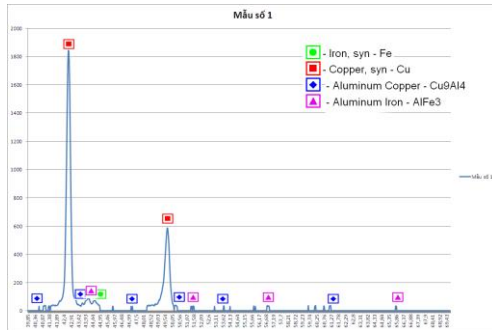
| Ký hiệu mẫu | Hợp kim | Al | Fe | Mn | Ni | Sn | Zn | Pb | Si | Cu |
|-------------|-------------|------|-----|-----|------|------|------|------|------|---------|
| M1 | CuAl9Fe4 | 9,2 | 3,9 | 0,1 | 0,15 | 0,28 | 0,96 | 0,22 | 0,21 | Còn lại |
| M2 | CuAl9Fe4Ni2 | 9,41 | 4,9 | 0,2 | 2,44 | 0,04 | 0,09 | 0,07 | 0,07 | Còn lại |



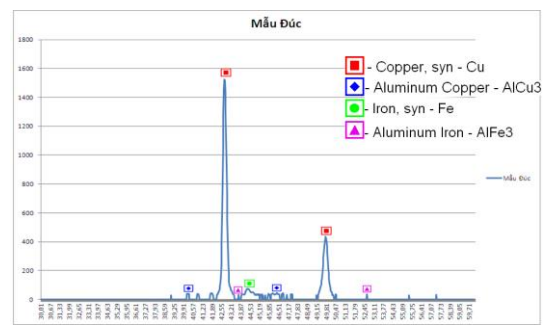
Hình 2. Tổ chức tế vi của mẫu 1 sau đúc



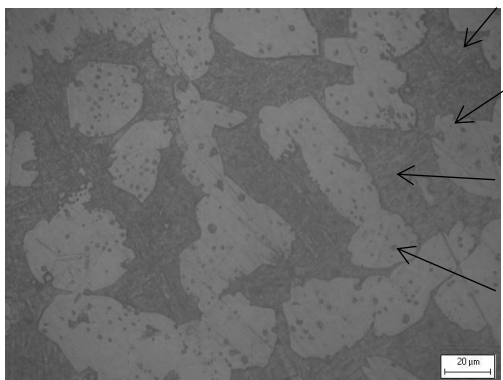
Hình 3. Tổ chức tế vi của mẫu 2 sau đúc



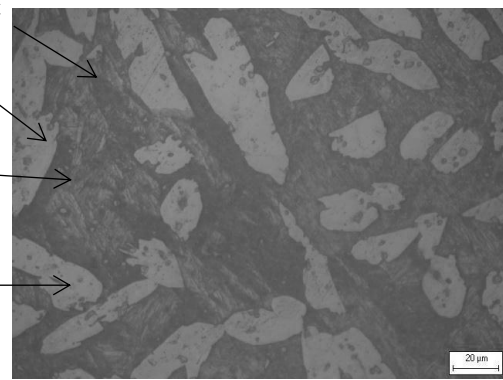
Hình 4. Kết quả XRD của mẫu 1 sau đúc



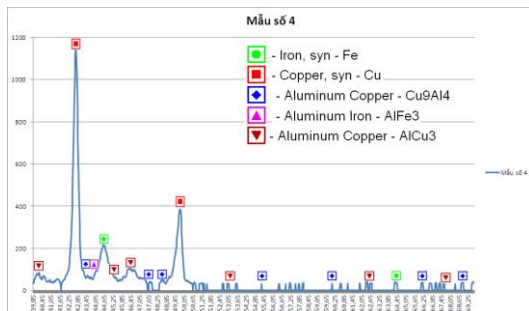
Hình 5. Kết quả XRD của mẫu 2 sau đúc



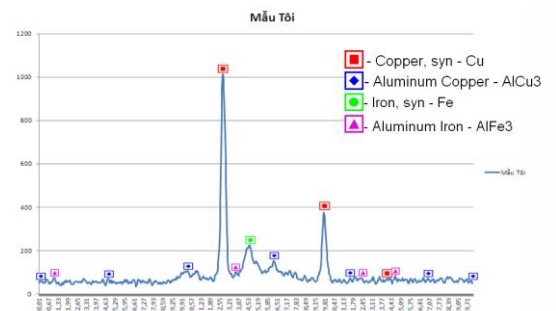
Hình 6. Hình ảnh tổ chức tế vi sau khi xử lý nhiệt của mẫu 1



Hình 7. Hình ảnh tổ chức tế vi sau khi xử lý nhiệt của mẫu 2



Hình 8. Kết quả XRD hợp kim Cu-Al-Fe sau xử lý nhiệt của mẫu 1



Hình 9. Kết quả XRD hợp kim Cu-Al-Fe-Ni sau xử lý nhiệt của mẫu 2

Các mẫu được tôi ở nhiệt độ 850°C trong 2 giờ, sau đó ram ở 350°C trong 2 giờ để tạo điều kiện tiết pha hóa bền. Tiến hành chuẩn bị để quan sát và phân tích các pha hóa bền tiết ra trong vật liệu bằng kính hiển vi quang học, XRD, TEM, SEM. Các mẫu được đo độ cứng và thử nghiệm khả năng chống mài mòn trên máy Tribotech nhằm đánh giá ảnh hưởng của các pha tới cơ tính của vật liệu.

4. Kết quả và thảo luận

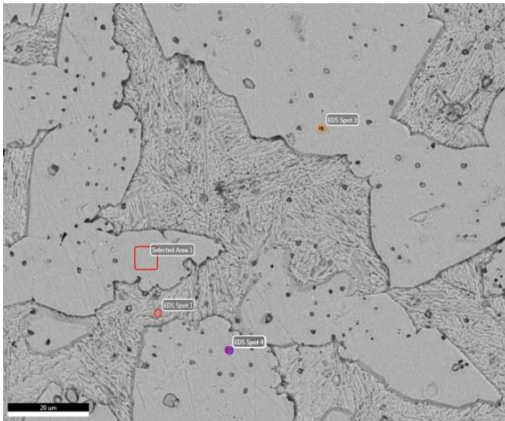
4.1. Sự tiết pha hóa bền trong vật liệu

* Sau khi đúc

Hai mẫu hợp kim Cu-Al-Fe và Cu-Al-Fe-Ni sau khi đúc thu được tổ chức tế vi như Hình 2, Hình 3. Dựa trên ảnh tổ chức quang học, các mẫu đều thu được pha α (vùng màu trắng) và pha $\alpha+\beta$ (vùng màu

đen). Khi so sánh giữa hai mẫu, mặc dù pha α có còn thô đại, nhưng kích thước hạt ở mẫu 2 đã nhỏ hơn so với mẫu 1 (giảm từ 100 μm xuống 90 μm). Điều này được giải thích là do sự xuất hiện của Niken sẽ giúp kích thước pha α tạo ra sẽ bị thu hẹp lại. Sự thay đổi kích thước hạt sẽ có tác động tích cực tới cơ tính của vật liệu.

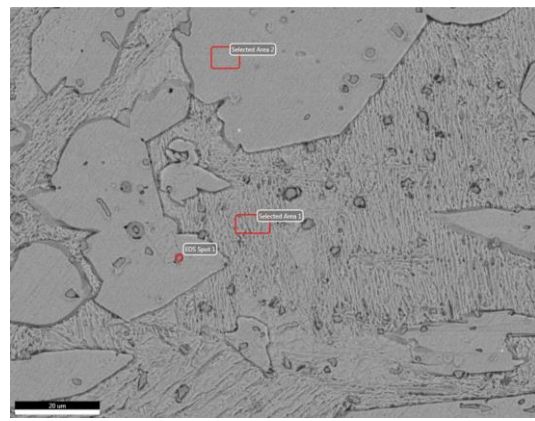
Ngoài ra, trên ảnh tổ chức tế vi của hai mẫu đều xuất hiện các chấm đen phân tán đều trên nền pha α và được dự đoán là các pha liên kim hình thành sau đúc. Tuy nhiên, ảnh tổ chức tế vi không thể xác định cụ thể loại pha liên kim hình thành, do đó các mẫu sẽ tiếp tục được phân tích XRD. Từ kết quả thu được thể hiện trong Hình 4, Hình 5 có thể kết luận sự xuất hiện của các pha liên kim Fe_3Al , FeAl , Cu_3Al và Cu_9Al_4 .



Hình 10. Ảnh SEM của mẫu 1 sau xử lý nhiệt
 Bảng 2. Thành phần nguyên tố tại các vị trí khác nhau của mẫu 1

| Pha Mactenxit | | |
|---------------|---------------|-------------|
| Nguyên tố | % Trọng lượng | % Nguyên tử |
| Cu | 86,6 | 77,1 |
| Al | 8,8 | 18,3 |
| Fe | 4,6 | 4,7 |

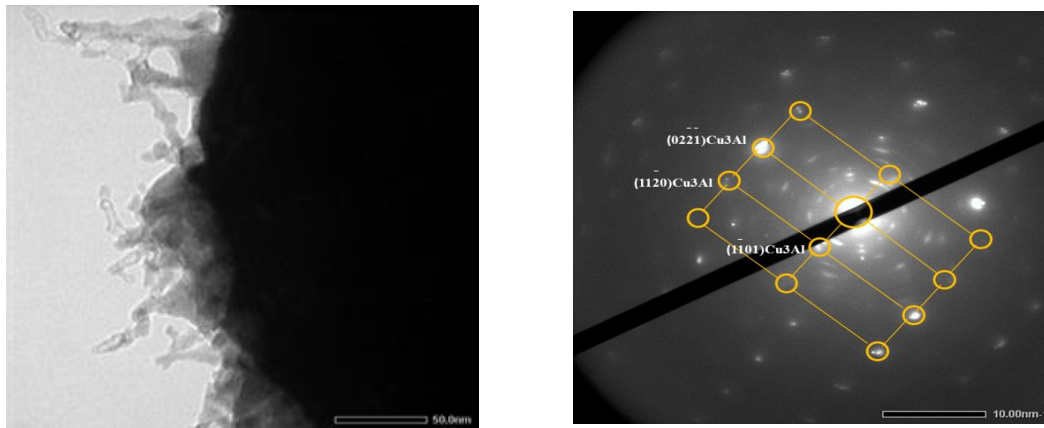
| Pha liên kim | | |
|--------------|---------------|-------------|
| Nguyên tố | % Trọng lượng | % Nguyên tử |
| Cu | 88,2 | 79,5 |
| Al | 7,7 | 16,3 |
| Fe | 4,2 | 4,3 |



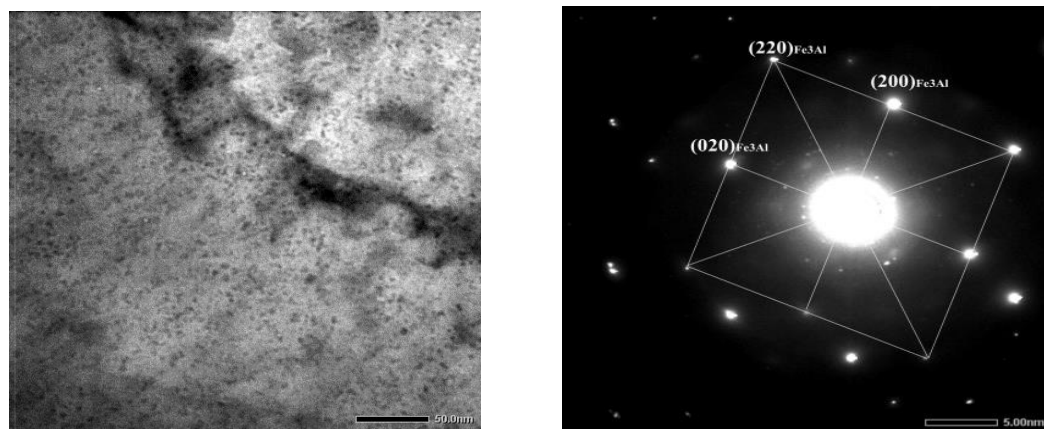
Hình 11. Ảnh SEM của mẫu 2 sau xử lý nhiệt
 Bảng 3. Thành phần nguyên tố tại các vị trí khác nhau của mẫu 2

| Pha liên kim | | |
|--------------|---------------|-------------|
| Nguyên tố | % Trọng lượng | % Nguyên tử |
| Ni | 3,92 | 3,56 |
| Cu | 6,48 | 5,44 |
| Al | 5,38 | 10,63 |
| Fe | 84,22 | 80,37 |

| Pha Mactenxit | | |
|---------------|---------------|-------------|
| Nguyên tố | % Trọng lượng | % Nguyên tử |
| Ni | 6,25 | 5,93 |
| Cu | 78,79 | 69,08 |
| Al | 9,44 | 19,49 |
| Fe | 5,51 | 5,50 |



Hình 12. Ảnh TEM của Mactenxit sau xử lý nhiệt



Hình 13. Ảnh TEM của pha liên kim

Bảng 4. Giá trị độ cứng trung bình

| Trạng thái | Độ cứng trung bình (HRB) | |
|------------|--------------------------|-------------|
| | Cu-Al-Fe | Cu-Al-Fe-Ni |
| Sau đúc | 88 | 98 |
| Sau tôi | 86 | 94,5 |
| Sau ram | 98 | 107,5 |

Bảng 5. Độ hụt khối

| Trạng thái | Độ hụt khối (g) | |
|------------|-----------------|-------------|
| | Cu-Al-Fe | Cu-Al-Fe-Ni |
| Sau đúc | 0,83 | 0,81 |
| Sau tôi | 0,80 | 0,75 |
| Sau ram | 0,12 | 0,10 |

* Sau khi tôi và ram

Mục đích của quy trình xử lý nhiệt sau đúc là tạo ra các pha tăng bền cho hợp kim đồng. So sánh tổ chức sau khi đúc với tổ chức sau khi tôi và ram cho thấy có sự thay đổi rõ rệt về kích thước hạt và các pha hình thành. Quan sát trên Hình 6 cho thấy, sau khi xử lý nhiệt mẫu 1, kích thước của pha α nhỏ hơn và đồng đều so với sau đúc, đạt khoảng 40 μ m-50 μ m. Đặc biệt, tại vùng đen $\alpha+\beta$ xuất hiện các pha có dạng hình kim được dự đoán là Mactenxit hình thành sau khi tôi. Trên nền α vẫn còn các chấm đen nhỏ là các pha liên kim Fe₃Al hoặc FeAl đã xuất hiện sau đúc. Đối với mẫu 2 (Hình 7), có thể nhìn thấy rõ các pha Mactenxit đan xen trên mặt cắt ngang theo cùng một hướng hoặc đa hướng. Kích thước vùng α đạt khoảng 20 μ m và các

pha liên kim (chấm đen) trên nền α cũng nhỏ hơn so với mẫu 1 và so với trước khi xử lý nhiệt. Điều này hoàn toàn phù hợp với chuyển biến pha của tổ chức sau đúc.

Để làm rõ các pha hóa bền sau khi tôi, các mẫu được phân tích XRD. Sau khi tính toán, cả hai mẫu đều xuất hiện Cu₃Al là cấu trúc pha của Mactenxit (pha β') có kiểu mạng BCC và HCP. Để xác định chính xác các pha hóa bền hình thành thì cần tiếp tục được phân tích bằng phương EDS và TEM.

Phân tích EDS mẫu 1 sau khi xử lý nhiệt để xác định thành phần ở các vị trí bao gồm: Pha dạng chấm đen trên nền α , pha dạng kim trên nền $\alpha+\beta$ và vùng α (Hình 10, Bảng 2). Tiến hành tính toán theo kết quả thu được có thể kết luận pha dạng chấm đen hình

thành là pha liên kim Fe_3Al . Kết quả này hoàn toàn phù hợp với phân tích XRD ở trên. Kết quả EDS của mẫu 2 được hiển thị trên Hình 11 và Bảng 3. Kết quả tính toán dựa theo thành phần thu được ở điểm 1 có thể kết luận là pha liên kim Fe_3Al , tuy nhiên không tìm ra được pha liên kim của Niken, mặc dù có thấy sự xuất hiện của Niken theo EDS. Điều này có thể được giải thích là do Niken hòa tan vào trong đồng tạo thành dung dịch rắn. Dựa vào phân tích thành phần các điểm và tính toán thông số mạng trên ảnh TEM (Hình 12, Hình 13) có thể đưa ra kết luận về sự hình thành của Mactenxit sau tôi và pha liên kim Fe_3Al . Đây được coi là cơ sở làm tăng độ cứng, độ bền và khả năng chống mài mòn xâm thực của vật liệu.

4.2. Sự tiết pha hóa bền đến cơ tính của vật liệu

Để đánh giá ảnh hưởng của các pha hóa bền đến khả năng chống xâm thực của vật liệu, các mẫu sẽ được đo độ cứng và thử nghiệm khả năng chống mài mòn ở các chế độ sau đúc và sau khi tôi và ram. Theo kết quả bảng so sánh giá trị độ cứng (Bảng 4), các mẫu sau khi đúc có độ cứng cao hơn so với trạng thái tôi. Nguyên nhân là do tổ chức sau khi đúc là α và các pha liên kim kích thước thô sẽ có độ cứng cao hơn so với pha α và Mactenxit β' . Sau khi ram, Mactenxit bị phân hủy thành các pha α và pha liên kim phân tán đều và nhỏ mịn nên độ cứng sẽ tăng lên.

Khi so sánh hai mẫu có thành phần khác nhau, hợp kim có bổ sung Niken giúp làm tăng độ cứng của vật liệu. Điều này hoàn toàn phù hợp với các kết quả phân tích tổ chức tế vi ở trên.

Dựa theo kết quả thử nghiệm khả năng chống mài mòn cho thấy (Bảng 5), khi các pha hóa bền tiết ra càng nhiều, độ cứng càng cao thì khả năng chống mài mòn của vật liệu được nâng cao. Cụ thể hợp kim được hợp kim hóa Niken có khả năng chống mài mòn tốt hơn so với mẫu còn lại.

6. Kết luận

1. Dựa theo kết quả phân tích tổ chức quang học, XRD, EDS và TEM đã tìm ra được các pha Mactenxit và pha liên Fe_3Al , và pha Fe_3Al là pha hóa bền trong hợp kim Cu-Al-Fe và Cu-Al-Fe-Ni.

2. Khi hợp kim hóa thêm Niken sẽ giúp làm giảm kích thước vùng α , làm tăng độ cứng và tăng khả năng chống mài mòn của vật liệu.

Lời cảm ơn

Nghiên cứu này được tài trợ bởi Trường Đại học Hàng hải Việt Nam trong đề tài mã số: DT22-23.107.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Sreedhar, B. K., Albert, S. A., & Pandit, A. B. (2017). *Cavitation damage: Theory and measurements-A review*. Wear, 372, pp.177-196.
- [2] Knapp, R. T., & Hollander, A. (1948). *Laboratory investigations of the mechanism of cavitation*. Transactions of the ASME, 70, pp.419-433.
- [3] Hucińska, J., & Głowack, M. (2001). *Cavitation erosion of copper and copper-based alloys*. Metallurgical and Materials Transactions A, Vol.32(6), pp.1325-1333.
- [4] Karimi, A., & Martin, J. L. (1986). *Cavitation erosion of materials*. International Metals Reviews, Vol.31(1), pp.1-26.
- [5] Wang, D., Xiao, B. L., Ni, D. R., & Ma, Z. Y. (2014). *Friction stir welding of discontinuously reinforced aluminum matrix composites: a review*. Acta Metallurgica Sinica (English Letters), Vol.27(5), pp.816-824.
- [6] Zhang, L. M., Ma, A. L., Yu, H., Umoh, A. J., & Zheng, Y. G. (2019). *Correlation of microstructure with cavitation erosion behaviour of a nickel-aluminum bronze in simulated seawater*. Tribology International, Vol.136, pp.250-258.
- [7] Wood, R. J. (2017). *Marine wear and tribocorrosion*. Wear, Vol.376, pp.893-910.
- [8] Wade, E. H. R., & Preece, C. M. (1978). *Cavitation erosion of iron and steel*. Metallurgical Transactions A, Vol.9(9), pp.1299-1310.
- [9] Wu, S. K., Lin, H. C., & Yeh, C. H. (2000). *A comparison of the cavitation erosion resistance of TiNi alloys, SUS304 stainless steel and Ni-based self-fluxing alloy*. Wear, Vol.44(1-2), pp.85-93.
- [10] Mochizuki, H., Yokota, M., & Hattori, S. (2007). *Effects of materials and solution temperatures on cavitation erosion of pure titanium and titanium alloy in seawater*. Wear, Vol.262(5-6), pp.522-528.
- [11] Li, X. Y., Yan, Y. G., Ma, L., Xu, Z. M., & Li, J. G. (2004). *Cavitation erosion and corrosion behavior of copper-manganese-aluminum alloy weldment*. Materials Science and Engineering: A, Vol.382(1-2), pp.82-89.
- [12] Tang, C. H., Cheng, F. T., & Man, H. C. (2004). *Effect of laser surface melting on the corrosion and cavitation erosion behaviors of a manganese-nickel-aluminium bronze*. Materials Science and Engineering: A, Vol.373(1-2), pp.195-203.

- [13] Wharton, J. A., Barik, R. C., Kear, G., Wood, R. J. K., Stokes, K. R., & Walsh, F. C. (2005). *The corrosion of nickel-aluminium bronze in seawater*. Corrosion science, Vol.47(12), pp.3336-3367.
- [14] Vaidya, S., & Preece, C. M. (1978). *Cavitation erosion of age-hardenable aluminum alloys*. Metallurgical Transactions A, Vol.9(3), pp.299-307.
- [15] Ye, H. (2003). *An overview of the development of Al-Si-alloy based material for engine applications*. Journal of Materials Engineering and Performance, Vol.12(3), pp.288-297.
- [16] Zou, J., Zhu, Y., Pan, M., Xie, T., Chen, X., & Yang, H. (2017). *A study on cavitation erosion behavior of AlSi10Mg fabricated by selective laser melting (SLM)*. Wear, Vol.376, pp.496-506.
- [17] S. Vedantam and R. Abeyaratne (2005), *A Helmholtz free-energy function for a Cu - Al - Ni shape memory alloy*, Vol. 40, pp.177-193.
- [18] P. Jain and P. K. Nigam (2013), *Influence of Heat Treatment on Microstructure and Hardness of Nickel Aluminium Bronze (Cu-10Al-5Ni-5Fe)*, IOSR journal of mechanical and Civil Engineering, Vol.04, Issue.6 (Jan - Feb. 2013), pp.16-21
- [19] N. N. Myuller and A. V. Agafonova (1979), *Mechanical properties of Cu-Al-Fe alloys*, Met. Sci. Heat Treat., Vol.21, No.3, pp.217-220.
- [20] S. Stanciu and L. G. Bujoreanu (2008), *Formation of β' stress-induced martensite in the presence of γ -phase, in a Cu-Al-Ni-Mn-Fe shape memory alloy*, Mater. Sci. Eng. A, Vol.481-482, pp.494-499.
- [21] N. N. Myuller and A. V. Agafonova (1979), *Mechanical properties of Cu-Al-Fe alloys*, Met. Sci. Heat Treat., Vol.21, No.3, pp.217-220.

| | |
|--------------------|------------|
| Ngày nhận bài: | 30/11/2022 |
| Ngày nhận bản sửa: | 16/12/2022 |
| Ngày duyệt đăng: | 31/12/2022 |

TỔ CHỨC, ĐỘ CỨNG VÀ ĐỘ DAI VÀ ĐẬP CỦA VẬT LIỆU COMPOSITE AZ91/SiC ỨNG DỤNG TRONG CHI TIẾT KẾT CẤU Ô TÔ

MICROSTRUCTURES, HARDNESS AND IMPACT TOUGHNESS OF COMPOSITE AZ91/SiC IN AUTOMOTIVE STRUCTURAL APPLICATIONS

VŨ VIỆT QUYỀN

Viện Cơ khí, Trường Đại học Hàng hải Việt Nam

Email liên hệ: quyenvv.cndt@vimaru.edu.vn

Tóm tắt

Bài báo trình bày kết quả nghiên cứu chế tạo vật liệu tổng hợp composite nền hợp kim Mg AZ91 được gia cường bằng SiC thông qua phương pháp đúc trong môi trường khí Ar bảo vệ. Đặc điểm tổ chức tế vi cũng như sự phân bố hạt SiC trong nền AZ91 được phân tích bằng kính hiển vi điện tử quét phát xạ trường (FESEM) và phân tích tán xạ năng lượng tia X (EDX). Kết quả cho thấy sự phân bố của các hạt SiC trong pha nền và không có phản ứng nào xảy ra giữa SiC và hợp kim Mg nóng chảy trong quá trình tổng hợp. Độ cứng và độ dai va đập của vật liệu composite AZ91/SiC được đánh giá và so sánh với hợp kim AZ91 không gia cường, hợp kim nhôm và thép. Kết quả cho thấy vật liệu composite với 15% khối lượng SiC có giá trị độ cứng là 76 HRB, tương đương thép thường sử dụng trong chi tiết kết cấu ô tô. Độ dai va đập tăng 130% so với hợp kim AZ91 ban đầu. Trong khi khối lượng riêng nhẹ hơn nhiều so với thép cho thấy loại vật liệu này có tiềm năng thay thế thép trong các ứng dụng kết cấu ô tô.

Từ khóa: Hợp kim Mg, composite, hạt gia cường, hạt SiC, giảm khối lượng, cơ chế gia cường.

Abstract

This paper presents the results of research and fabrication of AZ91/SiC composite through casting method in a protective Ar atmosphere. The microscopic characteristics as well as the distribution of SiC particles in the AZ91 matrix were analyzed by field emission scanning electron microscopy (FESEM) and energy dispersive X-ray spectroscopy (EDS). The results show the distribution of SiC particles in the matrix phase and no reaction occurs between SiC and the molten Mg alloy during the synthesis. The hardness and impact toughness of AZ91/SiC composites were evaluated and compared with unreinforced AZ91 alloy, aluminum alloy and

steel. The results show that the AZ91/SiC composites with 15% by weight of SiC has a hardness value of 76 HRB, equivalent to steel commonly used in automotive structural applications and 130% increased impact toughness compared to the AZ91 alloy. While the density is much lighter than steel, this material has the potential to replace steel in automotive structural applications.

Keywords: Mg alloy, composite, reinforcement grain, SiC grain, weight reduction, reinforcement mechanism.

1. Mở đầu

Magie (Mg) và hợp kim Mg hiện đang được ứng dụng rộng rãi trong các chi tiết kết cấu nhờ có khối lượng nhẹ độ bền cao [1]. Trong những năm gần đây, hợp kim Mg đang được nghiên cứu sử dụng ngày càng nhiều trong lĩnh vực ô tô do yêu cầu về giảm khối lượng thân xe để tiết kiệm năng lượng [2]. Mặc dù có khối lượng nhẹ và khả năng đúc các bộ phận có hình dạng phức tạp, hợp kim Mg có một số nhược điểm như mô đun đàn hồi thấp, độ bền không cao, khả năng chống mài mòn và rão thấp khiến việc thay thế thép và nhôm cho kết cấu chịu tải trọng cao bị hạn chế [3]. Các nghiên cứu tăng bền cho hợp kim Mg bằng vật liệu gia cường đã tạo ra một dòng vật liệu mới hay còn gọi là vật liệu composite có khả năng khắc phục những nhược điểm này. Vật liệu gia cường được sử dụng có thể ở dạng sợi liên tục, sợi ngắn hoặc hạt. Trong đó, Silic cacbua (SiC) ở dạng hạt là chất gia cường được lựa chọn phổ biến nhất thông qua phương pháp đúc vì chi phí thấp, khả năng tương thích với nền hợp kim Mg [4-6].

Hiện có nhiều kỹ thuật luyện kim có thể được sử dụng để chế tạo vật liệu composite như luyện kim bột, thấm, ủ hoặc đúc. Phương pháp luyện kim bột tồn tại một số nhược điểm như nguy cơ cháy nổ với hỗn hợp bột của hợp kim Mg, quy trình sản xuất tương đối phức tạp và khó sản xuất các sản phẩm có hình dạng phức tạp khiến giá thành sản phẩm tăng. Với kỹ thuật

đúc, các hạt gia cường được bổ sung vào hợp kim Mg nóng chảy trước khi đúc chi tiết kết cấu. Quá trình đúc được thực hiện trong môi trường khí trơ bảo vệ nhằm ngăn khả năng bắt cháy của hợp kim Mg. Kỹ thuật này đơn giản, tiết kiệm và dễ dàng áp dụng trong các xưởng đúc nên được sử dụng phổ biến. Nhược điểm phương pháp là thực hiện ở nhiệt độ cao dẫn đến xu hướng phản ứng hóa học giữa nền kim loại và các hạt gia cường chưa được khắc phục triệt để [7].

Trong nghiên cứu này, vật liệu composite trên nền hợp kim Mg AZ91 được gia cường bằng các hạt SiC được chế tạo bằng phương pháp đúc trong môi trường khí Ar. Các đặc tính tổ chức tế vi, sự phân bố của hạt gia cường trong pha nền và phản ứng bề mặt giữa hạt gia cường SiC và pha nền AZ91 được nghiên cứu bằng cách sử dụng phân tích hiển vi điện tử quét phát xạ trường FESEM và EDX. Các tính chất cơ học của vật liệu composite tổng hợp cũng được đánh giá và kết quả được so sánh với thép để đánh giá tiềm năng sử dụng loại vật liệu này trong sản xuất chi tiết kết cấu ô tô.

2. Thí nghiệm

2.1. Nguyên liệu

Hợp kim thương mại AZ91 do Hunan High Broad New Material Co., Ltd, Trung Quốc sản xuất được sử dụng trong nghiên cứu có thành phần hóa học được liệt kê trong Bảng 1. Bột silic cacbua (SiC) do Xilong Scientific - Trung Quốc sản xuất, có kích thước hạt trung bình là 74 μ m, được chọn làm hạt gia cường. Phân tích thành phần hóa học của các hạt SiC được thể hiện trong Bảng 2.

Bảng 1. Thành phần hóa học hợp kim AZ91

| Al | Zn | Mn | Si | Fe | Cu | Mg |
|-----|------|------|------|------|------|---------|
| 8,9 | 0,75 | 0,11 | 0,01 | 0,01 | 0,02 | Còn lại |

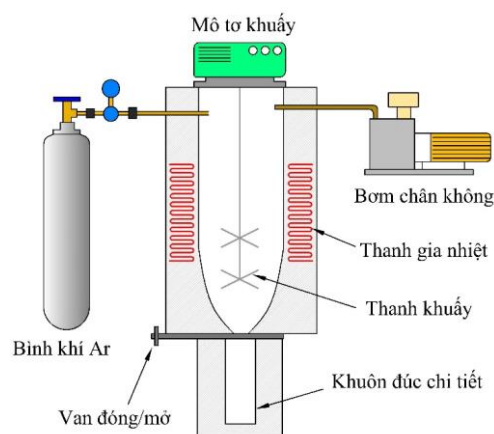
Bảng 2. Thành phần hóa học của SiC

| SiC | Si | C | SiO ₂ | Fe | Al ₂ O ₃ | MgO |
|------|------|------|------------------|-------|--------------------------------|------|
| 99,5 | 0,04 | 0,15 | 0,1 | 0,005 | 0,01 | 0,05 |

2.2. Thiết bị và thực nghiệm

Sơ đồ thiết bị thí nghiệm được thể hiện trong Hình 1. Quá trình chế tạo vật liệu composite AZ91/SiC được thực hiện theo các bước sau: Bước thứ nhất hợp kim AZ91 được đưa vào trong lò khuấy bằng thép không gỉ có phủ một lớp bo nitrua (BN), bơm chân không khởi động loại bỏ không khí còn lại trong lò; Bước thứ hai, khí Ar được bơm vào lò để tạo môi trường bảo vệ khi nấu chảy hợp kim AZ91, tiếp đó nhiệt độ lò được

nâng lên 750°C; Bước thứ ba, bột SiC được trộn đều vào hợp kim AZ91 nóng chảy theo tỷ lệ 5% và 15% khối lượng bằng mô tơ khuấy với tốc độ 900 vòng/phút. Để đảm bảo các hạt SiC được trộn đều hoàn toàn, hỗn hợp nóng chảy được khuấy liên tục trong 1 phút. Sau đó van đáy lò được mở để kim loại nóng chảy được đổ vào khuôn đúc chi tiết. Hạt SiC có khả năng không thấm ướt cao, do vậy dễ có xu hướng nổi lên trên bề mặt của hợp kim Mg nóng chảy. Để khắc phục vấn đề này, các hạt SiC được xử lý bằng cách oxi hóa trước khi đưa vào khuấy trộn trong hợp kim Mg. Quá trình oxy hóa các hạt SiC được thực hiện bằng lò nung CF1400 ở 1100°C trong 2 giờ. Ngoài ra, quá trình oxy hóa này cũng nhằm mục đích loại bỏ các khí bị hấp phụ khỏi bề mặt các hạt SiC và làm cho toàn bộ bề mặt hạt hoạt động đồng đều.



Hình 1. Sơ đồ thiết bị thí nghiệm chế tạo vật liệu composite AZ91/SiC

Tổ chức tế vi của hợp kim AZ91 và vật liệu composite AZ91/SiC được nghiên cứu bằng kính hiển vi điện tử quét phát xạ trường FESEM (JEOL JSM-7600F) và quang phổ tán xạ tia X EDS được tích hợp trên kính hiển vi điện tử. Các mẫu phân tích được mài nhẵn, đánh bóng và tẩm thực bằng hỗn hợp dung dịch gồm 1ml HNO₃ đặc, 75ml (CH₂OH)₂ và 24ml nước. Độ cứng của composite AZ91/SiC được kiểm tra bằng phương pháp đo độ cứng Rockwell trên thiết bị HardRocker 150-A tại Trung tâm Thực hành - Thí nghiệm, Trường Đại học Hàng hải Việt Nam, sử dụng thang đo HRB, áp dụng cho ba mẫu thử riêng biệt. Kết quả độ cứng là giá trị trung bình của các mẫu đo.

Thử nghiệm độ dai va đập của hợp kim AZ91, composite AZ91/SiC, hợp kim nhôm AA6061-T6 và thép SAPH440 được thực hiện trên các mẫu có kích thước 10x10x55 (mm), chiều sâu rãnh 2mm theo Tiêu chuẩn Việt Nam TCVN 312:1969 bằng máy đo độ dai va đập JBS-300 Jinan Precision Testing Equipment

Co., Ltd tại Trung tâm Thực hành - Thí nghiệm, Trường Đại học Hàng hải Việt Nam.

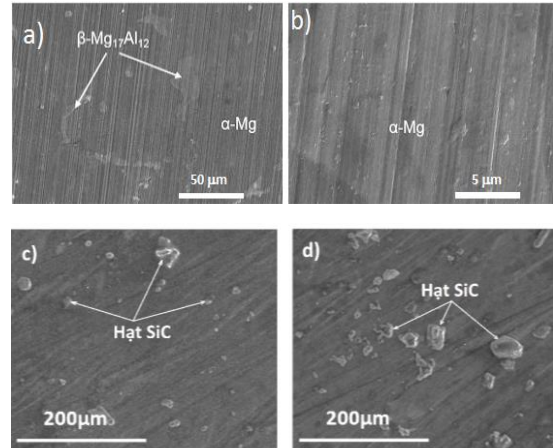
3. Kết quả và thảo luận

3.1. Tổ chức tế vi

Nghiên cứu tổ chức tế vi đóng vai trò quan trọng để đánh giá chất lượng của kỹ thuật xử lý hợp kim lỏng trong chế tạo composite bằng phương pháp đúc. Phân tích FESEM mẫu hợp kim AZ91 và composite AZ91/SiC được thể hiện trong Hình 2. Kết quả cho thấy, tổ chức chính trong hợp kim AZ91 chủ yếu là các pha α -Mg và các pha liên kim β - $Mg_{17}Al_{12}$ có màu sáng, kích thước lớn (Hình 2a, b). Nghiên cứu từ giản đồ pha của hệ Mg-Al cho thấy độ hòa tan tối đa của Al trong Mg là 12,7 % ở 437 C° và giảm xuống còn khoảng 2% ở nhiệt độ phòng. Khi này, Al được hòa tan một phần trong dung dịch rắn magie và một phần tạo pha liên kim $Mg_{17}Al_{12}$, thường được hình thành ở biên giới hạt, dạng lưới. Tuy nhiên, khi Zn được thêm vào hệ Mg-Al, pha liên kim $Mg_{17}Al_{12}$ có hình thái lớn, tách rời hoàn toàn và được bao quanh bởi dung dịch rắn Mg. Hình 2c, d thể hiện tổ chức hợp kim AZ91 được gia cường bằng hạt SiC ở các tỷ lệ SiC khác nhau lần lượt là 5% và 15% khối lượng. Kết quả cho thấy sự phân bố khá đồng đều của hạt SiC trong nền kim loại AZ91 và không quan sát thấy tạp chất hay oxit hình thành.

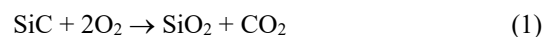
Sự phân bố của các hạt SiC đồng đều được xác định là do khả năng thấm ướt của SiC tăng sau quá trình xử lý oxi hóa trước khi đưa vào hợp kim Mg nóng chảy. Sự phân bố của các hạt gia cường này còn bị ảnh hưởng bởi một số yếu tố khác như vận tốc khuấy, chênh lệch khối lượng riêng giữa các hạt và kim loại nóng chảy, cuối cùng là tốc độ làm nguội. Tốc độ khuấy đủ lớn sẽ giúp trộn đều các hạt gia cường vào hợp kim Mg nóng chảy và ngăn cho các hạt lắng xuống do sự khác biệt về khối lượng riêng. Quá trình làm nguội cũng là một giai đoạn phức tạp, ảnh hưởng đến sự phân bố của hạt gia cường. Khi thời gian làm nguội quá lâu, các hạt SiC sẽ bị lắng xuống phía dưới của khuôn đúc và tỷ lệ khối lượng hạt lắng sẽ là một hàm phụ thuộc vào thời gian. Theo nghiên cứu của Geiger và cộng sự, tốc độ lắng cũng sẽ là một hàm của khối lượng riêng và hình dạng và kích thước hạt đóng một vai trò quan trọng trong quá trình lắng [8]. Ở các hạt có kích thước nhỏ hơn, tốc độ lắng sẽ chậm hơn. Vì vậy, vật liệu composite chứa các hạt gia cường có kích thước hạt lớn sẽ phải được khuấy liên tục cho đến khi đúc. Trong điều kiện chế tạo thực tế,

hạt SiC được sử dụng có nhiều hình dạng và kích thước khác nhau do đó tốc độ lắng sẽ khác nhau. Sự phân bố gần như đồng đều của các hạt SiC được quan sát thấy trong vật liệu composite AZ91/SiC cho thấy phương pháp xử lý vật liệu SiC và các thông số công nghệ được sử dụng trong nghiên cứu này là hiệu quả.

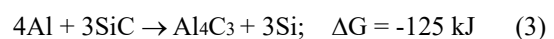
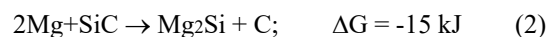


Hình 2. Tổ chức tế vi (a), (b) hợp kim AZ91, (c) composite AZ91/SiC với 5% SiC và (d) composite AZ91/SiC với 15% SiC

Trong vật liệu composite, vùng biên giới giữa hạt gia cường và pha nền đóng vai trò quan trọng đến tính chất của vật liệu tổng hợp, tải trọng từ pha nền truyền sang các hạt gia cường sẽ thông qua vùng biên giới này. Hơn nữa đây cũng là một lớp rào cản làm cản trở phản ứng khuếch tán tại vùng bề mặt giữa nền AZ91 và SiC. Trong nghiên cứu này, các hạt SiC đã được oxi hóa bằng lò điện trở ở 1100°C trong 2 giờ trước khi đưa vào khuấy trộn trong hợp kim Mg nóng chảy. Quá trình oxi hóa diễn ra theo phương trình phản ứng sau:



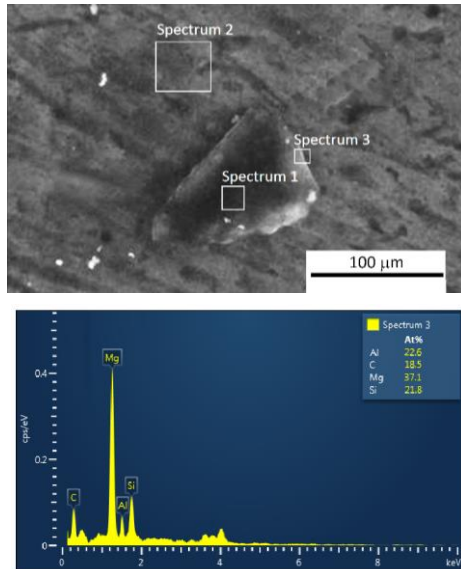
Như vậy, sau quá trình oxi hóa bề mặt SiC sẽ được phủ một lớp oxit SiO_2 . Lớp oxit này đóng vai trò một lớp màng mỏng hiệu quả trong việc ngăn các hạt SiC phản ứng với nền AZ91 để tạo thành Mg_2Si hoặc Al_4C_3 theo phản ứng sau:



Ảnh SEM và phân tích EDS hạt SiC, nền AZ91 và vùng biên giới hạt được thể hiện trong Hình 3.

Kết quả cho thấy tính toàn vẹn của bề mặt giữa hạt SiC và pha nền, khả năng liên kết và ổn định tốt cũng như không quan sát thấy sản phẩm do phản ứng tại bề mặt hình thành. Đây là kết quả của việc lựa chọn

thông số công nghệ tốt với nhiệt độ thấp (750°C), thời gian khuấy ngắn và tốc độ khuấy cao ở trạng thái lỏng giúp hạn chế khả năng hình thành phản ứng giữa SiC và AZ91. Nhiệt độ cao hơn sẽ làm tăng tốc các phản ứng hóa học tại bề mặt theo định luật Arrhenius, thời gian khuấy kéo dài có thể tạo thuận lợi cho phản ứng lan rộng giữa SiC bị oxy hóa và AZ91.



Hình 3. Ảnh SEM và phân tích EDS hạt SiC và nền AZ91

Do đó, để tổng hợp được vật liệu composite với tổ chức tế vi và tính chất mong muốn, phản ứng tại bề mặt giữa pha nền và hạt gia cường phải được hạn chế bằng việc lựa chọn hợp kim nền, xử lý bề mặt hạt gia cường và lựa chọn các thông số quy trình phù hợp.

3.2. Đặc điểm cơ tính

Kết quả đo độ cứng trong Bảng 3 cho thấy tăng tỷ lệ hạt SiC sẽ làm gia tăng giá trị độ cứng của vật liệu composite AZ91/SiC. Độ cứng của composite tăng từ 50 HRB lên 76 HRB khi tăng tỷ khối lượng SiC từ 0% lên 15%. Điều này cho thấy sự có mặt của các hạt SiC

được bao quanh bởi pha nền AZ91 có độ cứng thấp hơn đã góp phần chống mài mòn và gia tăng khả năng chống biến dạng dẻo của vật liệu. Nguyên nhân giúp vật liệu composite tăng độ cứng theo Xiao và các cộng sự là do ảnh hưởng của SiC làm nhỏ hạt AZ91 khi tổng hợp và phần thể tích của các hạt SiC trong hỗn hợp càng lớn thì kích thước hạt sẽ càng nhỏ [9].

Ngoài ra, các hiệu ứng gia cường xảy ra trong vật liệu composite có thể được chia thành hai loại, gia cường trực tiếp và gia cường gián tiếp. Cơ chế gia cường trực tiếp bao gồm khả năng truyền ứng suất từ pha nền sang các hạt gia cường có độ cứng và độ bền cao hơn. Cơ chế này đạt được khi có được sự liên kết tốt giữa nền và hạt, khi đó ứng suất tác dụng có thể được chuyển từ pha nền có độ cứng thấp sang các hạt có độ cứng cao hơn. Nếu liên kết bề mặt yếu, thì vùng biên giới nền - hạt sẽ bị phá vỡ và ứng suất không truyền được sang hạt gia cường, vì vậy cơ chế gia cường sẽ không hiệu quả. Các cơ chế gia cường gián tiếp gồm làm nhỏ hạt của kim loại nền và tạo ra sai lệch mạng cao trong composite do sự khác biệt về hệ số giãn nở nhiệt của hợp kim nền AZ91 là $26 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ và hạt gia cường SiC là $4,7 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$. Hơn nữa, sự khác nhau về khả năng biến dạng giữa pha nền và hạt gia cường cũng thường tạo ra sai lệch mạng tại khu vực tiếp giáp giữa nền và hạt, do đó làm gia cường vật liệu composite. Một số mô hình về cơ chế gia cường trong hợp kim hai pha đã được nghiên cứu bởi tác giả Gang Chen và các cộng sự [10]. Kết quả nghiên cứu thể hiện hầu hết các mô hình đều dự đoán độ bền và độ cứng của vật liệu composite tăng lên và hệ số giãn nở nhiệt giảm khi tăng tỷ lệ chất gia cường.

Kết quả thử nghiệm độ dai va đập trong Bảng 3 của composite AZ91/SiC trong cũng tăng từ 17,5J/cm² lên 40J/cm², tương ứng với tỷ lệ tăng khối lượng hạt gia cường. Nghiên cứu của Song-Jeng Huang và các cộng sự đưa ra kết luận vật liệu composite giảm độ dai va đập là do hình thành các pha giòn như Mg₂Si hay các

Bảng 3. So sánh cơ tính của composite AZ91/SiC với hợp kim nhôm và thép

| Hợp kim | Khối lượng riêng (g/cm ³) | Độ cứng (HRB) | | | | Độ dai va đập (J/cm ²) | | | |
|---------------|---------------------------------------|---------------|-------|-------|----|------------------------------------|-------|-------|-------|
| | | Lần 1 | Lần 2 | Lần 3 | TB | Lần 1 | Lần 2 | Lần 3 | TB |
| AZ91 | 1,81 | 52 | 47 | 51 | 50 | 18,7 | 16,2 | 17,5 | 17,5 |
| AZ91- 5% SiC | 1,85 | 63 | 67 | 62 | 64 | 23,7 | 27,5 | 23,7 | 25 |
| AZ91- 15% SiC | 1,95 | 80 | 77 | 71 | 76 | 43,7 | 41,2 | 36,2 | 40 |
| AA6061-T6 | 2,7 | 62 | 63 | 62 | 62 | 78,7 | 81,2 | 87,5 | 82,5 |
| Thép SAPH440 | 7,9 | 74 | 76 | 69 | 73 | 107,5 | 108,7 | 106,2 | 107,5 |

pha liên kim của Al-Mn tại biên giới nền - hạt, cùng với khả năng liên kết không tốt tại bề mặt hạt gia cường làm hình thành các vết nứt trong vật liệu tổng hợp [11]. Tuy nhiên trong nghiên cứu hiện tại, kết quả quan sát bằng phân tích SEM và EDS cho thấy vật liệu composite có khả năng liên kết bề mặt tốt và không hình thành các pha sản phẩm giòn tại vùng biên giới hạt gia cường. Do vậy, độ dai va đập của các mẫu thử chứa 15% SiC tăng gần 130% so với hợp kim AZ91.

Độ cứng và độ dai va đập của composite AZ91/SiC được so sánh với hợp kim nhôm AA6061-T6 và thép SAPH440 thường được dùng trong chế tạo các chi tiết kết cấu ô tô. Kết quả cho thấy sau khi được gia cường với 15% SiC, vật liệu composite có cơ tính tăng đáng kể, tiềm năng để thay thế nhôm và thép. Đặc biệt, với khối lượng riêng nhẹ hơn nhiều so với thép, giúp giảm đáng kể khối lượng kết cấu thân xe ô tô, qua đó đáp ứng yêu cầu tiết kiệm năng lượng.

4. Kết luận

Nghiên cứu đã chế tạo thành công vật liệu tổng hợp composite AZ91/SiC bằng phương pháp đúc với kỹ thuật đơn giản, chi phí thấp. Sự có mặt của các hạt gia cường SiC trong hợp kim nền AZ91 làm thay đổi cấu trúc tế vi của pha nền. Kết quả phân tích SEM và EDS cho thấy không có pha oxit hay pha tạp nào tại vùng liên kết giữa hạt SiC và nền AZ91. Việc bổ sung các hạt SiC vào nền AZ91 làm tăng giá trị độ cứng, độ dai va đập so với hợp kim không gia cường và giá trị độ cứng, độ bền tương đương với thép. Kết quả này cho thấy tiềm năng sử dụng composite AZ91/SiC nhằm thay thế thép trong chi tiết kết cấu ô tô.

Lời cảm ơn

Nghiên cứu này được tài trợ bởi Trường Đại học Hàng hải Việt Nam trong đề tài mã số: **DT22-23.39**.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] N. Sezer, Z. Evis, S. M. Kayhan, A. Tahmasebifar, and M. Koç. (2018), *Review of magnesium-based biomaterials and their applications*, Journal of Magnesium and Alloys, Vol.6 No.1, pp.23-43.

[2] J. Tan and S. Ramakrishna (2021), *Applications of magnesium and its alloys: A review*, Applied Sciences, Vol.11 No.15.

[3] T. S. Srivatsan, T. S. Sudarshan, and E. J. Lavernia. (1995), *Processing of discontinuously-reinforced metal matrix composites by rapid solidification*, Progress in Materials Science, Vol.39 No.4-5, pp.317-409.

[4] S. C. V. Lim, M. Gupta, and L. Lu. (2001), *Processing, microstructure, and properties of Mg - SiC composites synthesised using fluxless casting process*, Materials Science and Technology, Vol.17 No.7, pp.823-832.

[5] A. Kumar, S. Kumar, and N. K. Mukhopadhyay. (2018), *Introduction to magnesium alloy processing technology and development of low-cost stir casting process for magnesium alloy and its composites*, Journal of Magnesium and Alloys, Vol.6 No.3, pp.245-254.

[6] A. Kumar, S. Kumar, N. K. Mukhopadhyay, A. Yadav, and J. Winczek. (2020), *Effect of sic reinforcement and its variation on the mechanical characteristics of AZ91 composites*, Materials, Vol.13 No.21, pp.1-16.

[7] A. Mortensen and M. C. Flemings. (1996), *Solidification of binary hypoeutectic alloy matrix composite castings*, Metallurgical and Materials Transactions A: Physical Metallurgy and Materials Science, Vol.27 No.3, pp.595-609.

[8] A. Doostmohammadi and A. M. Ardekani. (2015), *Suspension of solid particles in a density stratified fluid*, Physics of Fluids, Vol.27 No.2.

[9] P. Xiao et al. (2019), *An investigation on grain refinement mechanism of TiB₂ particulate reinforced AZ91 composites and its effect on mechanical properties*, Journal of Alloys and Compounds, Vol.780, pp.237-244.

[10] G. Chen, J. Wan, N. He, H. Ming Zhang, F. Han, and Y. Min Zhang. (2018), *Strengthening mechanisms based on reinforcement distribution uniformity for particle reinforced aluminum matrix composites*, Transactions of Nonferrous Metals Society of China, Vol.28 No.12, pp.2395-2400.

[11] S. J. Huang, S. Diwan Midyeen, M. Subramani, and C. C. Chiang. (2021), *Microstructure evaluation, quantitative phase analysis, strengthening mechanism and influence of hybrid reinforcements (β -SiCp, Bi and Sb) on the collective mechanical properties of the AZ91 magnesium matrix*, Metals, Vol.11 No.6.

| | |
|--------------------|------------|
| Ngày nhận bài: | 08/12/2022 |
| Ngày nhận bản sửa: | 18/12/2022 |
| Ngày duyệt đăng: | 23/12/2022 |

NGHIÊN CỨU SỰ HÌNH THÀNH TỔ CHỨC TRONG MỐI HÀN THÉP CHỊU NHIỆT P22 VÀ P91

INVESTIGATION THE MICROSTRUCTURE OF HEAT RESISTANT P22 AND P91 WELDS

LÊ THỊ NHUNG

Viện Cơ khí, Trường Đại học Hàng hải Việt Nam

Email liên hệ: nhunglt.vck@vimaru.edu.vn

Tóm tắt

Thép chịu nhiệt P22 và P91 thường được sử dụng chế tạo các bộ phận nồi hơi, đường ống dẫn hơi, vỏ tuabin trong nhà máy nhiệt điện. Vị trí ghép nối giữa các ống thường được liên kết bằng mối hàn. Bài báo này sẽ nghiên cứu sự phân vùng và tổ chức hình thành trong mối hàn giữa hai vật liệu khác loại nêu trên dựa vào giản đồ pha, đường cong làm nguội liên tục CCT và ảnh tổ chức tế vi thu được bằng các phương pháp phân tích kính hiển vi quang học, SEM, EDS. Bên cạnh đó, nghiên cứu cũng tìm ra vùng mềm tại biên giới nóng chảy của thép P91. Đây được coi là nguyên nhân dẫn tới hiện tượng phá hủy rã khi mối hàn làm việc ở nhiệt độ cao trong thời gian dài.

Từ khóa: Giản đồ pha, CCT, thép chịu nhiệt, thép P91, thép P22.

Abstract

Heat-resistant steels P22 and P91 are often applied in boiler parts, steam pipelines, and turbine shells in a thermal power plant. The welding method is used to joint two pipes with dissimilar materials. To study the subzones and the microstructure of the dissimilar welds, this paper is based on the phase diagram, CCT continuous cooling curve, and the microstructure image obtained by optical microscope, SEM, and EDS. In addition, a soft zone is found at the P91 fusion boundary. This may be the cause of creep damage when the weld is working at high temperatures for a long time.

Keywords: Phase diagram, CCT, heat-resistant steels, P91, P22.

1. Mở đầu

Thép chịu nhiệt P91, P22 thường được sử dụng rộng rãi trong các bộ phận nồi hơi, đường ống hơi, vỏ tuabin hơi,... tại một số nhà máy nhiệt điện. Trong đó, thép P91 có chứa 9%Cr, 1%Mo dùng cho các bộ phận có nhiệt độ làm việc trên 600°C do

chúng có độ bền cao, khả năng chống mài mòn tốt và độ ổn định cấu trúc cao. Thép P22 chứa khoảng 2,25%Cr, 1%Mo dễ sản xuất và giá thành rẻ hơn so với thép P91. Do đó, tại các vị trí làm việc ở nhiệt độ thấp thường sử dụng loại thép này nhằm giảm chi phí chế tạo và vận hành. Phương pháp hàn thường được lựa chọn để tạo liên kết giữa hai vật liệu khác loại. Tuy nhiên, trong quá trình hàn, dưới tác dụng của nguồn nhiệt hàn sẽ tạo ra chuyển biến pha, hình thành các vùng có tổ chức tế vi không đồng nhất và ảnh hưởng tới cơ tính của mối hàn [1-3]. Theo các nghiên cứu trước đây cho biết, vị trí dễ bị hư hỏng trong mối hàn là vùng ảnh hưởng nhiệt thép của thép P22 với độ bền và độ dai va đập giảm mạnh so với vùng khác [4-5]. Ngoài ra, khi làm việc ở nhiệt độ cao trong thời gian dài, mối hàn dễ bị hư hỏng do hiện tượng rã. Vậy đâu là nguyên nhân dẫn tới sự giảm mạnh cơ tính trong mối hàn? Bài báo này sẽ tiến hành phân tích sự phân vùng và sự hình thành các pha của mối hàn thép chịu nhiệt P22 và P91 trên cơ sở lý thuyết và thực nghiệm.

2. Thép chịu nhiệt P22, P91 và giản đồ pha

Thép P22 là thép hợp kim thấp có chứa 2,25%Cr và khoảng 1%Mo. Nhờ khả năng hàn và đặc tính chống rã, chịu mài tốt nên vật liệu này được sử dụng rộng rãi cho các bộ phận vận hành trong nhà máy nhiệt điện như ống quá nhiệt, ống hâm nóng, đầu nhiệt và đường ống nhiệt độ cao. Hợp kim này thường sử dụng cho các chi tiết làm việc trong khoảng 370-560°C, tùy thuộc vào áp suất và tuổi thọ chi tiết [7]. Theo giản đồ pha (Hình 1), ở dưới nhiệt độ 520°C, thép P22 bao gồm các pha Ferrit, pha Laves và Cacbit M_6C . Khi nung nóng ở nhiệt độ cao hơn, pha Cacbit M_6C được tiết ra và ổn định trong khoảng 520-720°C. Đến khoảng 780°C, Cacbit M_7C_3 bị phân hủy hoàn toàn. Theo giản đồ, nhiệt độ bắt đầu xảy ra chuyển biến A_{c1} vào khoảng 799-821°C và Ferrit chuyển biến hoàn toàn thành Austenit khi nung trên A_{c3} (870°C).

Thép P91 là vật liệu chứa 9-12%Cr và được coi là bước tiến quan trọng trong quá trình phát triển của thép chịu nhiệt và chống rã ở nhiệt độ cao. Vật liệu

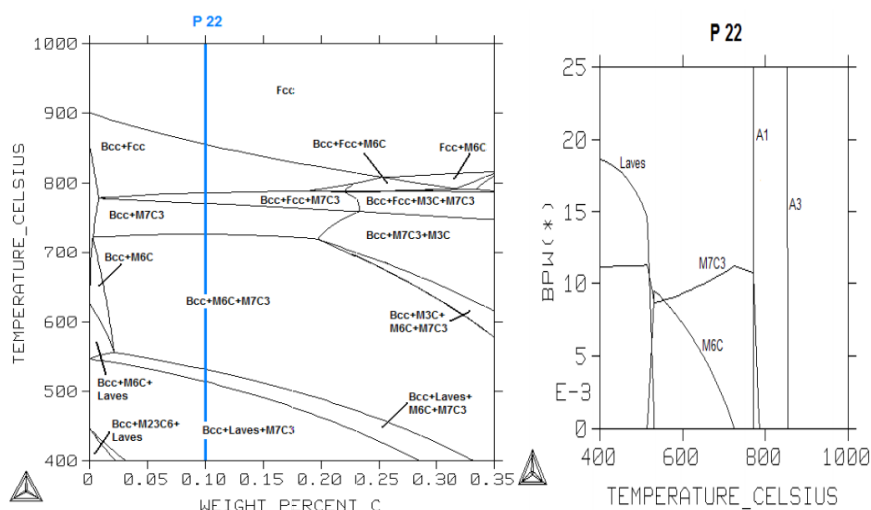
này được phát triển tại phòng Thí nghiệm quốc gia Oak Ridge, Hoa Kỳ năm 1970 và nhanh chóng được ứng dụng trong các lò phản ứng hạt nhân và các nhà máy nhiệt điện. Hợp kim được bổ sung thêm các nguyên tố hợp kim như Vanadi, Nitơ nhằm tăng độ bền rã. Theo giản đồ pha tính bằng Thermo-Cal (Hình 2), tổ chức thu được của thép ở nhiệt độ dưới 630°C là pha Laves, Cacbit $M_{23}C_6$ và pha Cacbonitride MX trên nền Mactenxit ổn định. Khi nung nóng trên 630°C, pha Laves sẽ phân hủy hoàn toàn. Austenit hình thành ở nhiệt độ khoảng 830°C. Cacbit $M_{23}C_6$ bị phân hủy ở khoảng 870°C và tổ chức thu được ở trên nhiệt độ này là Austenit và MX.

3. Đường cong làm nguội liên tục (CCT)

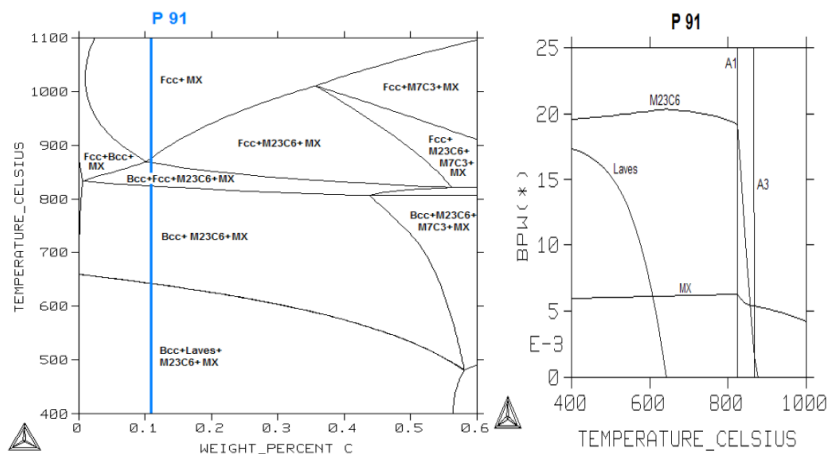
Trong quá trình hàn thép P22 và P91, dưới tác dụng của nguồn nhiệt sẽ nung nóng vùng hàn tới trạng thái nóng chảy, sau đó kết tinh để tạo ra liên kết hàn (vùng mối hàn). Ngoài ra, dưới tác dụng của nguồn nhiệt sẽ hình thành vùng ảnh hưởng nhiệt

(HAZ) tính từ biên giới nóng chảy tới vùng kim loại cơ bản có nhiệt độ khoảng 500°C. Như vậy, có hai yếu tố chính ảnh hưởng tới sự chuyển biến pha và tổ chức hình thành là nhiệt độ lớn nhất trong giai đoạn nung nóng (xem giản đồ pha ở Mục 2) và tốc độ nguội trong giai đoạn nguội. Trên thực tế, đường nguội trong quá trình hàn là nguội liên tục. Do đó, để xét ảnh hưởng của tốc độ nguội tới sự hình thành tổ chức mối hàn cần xét tới đường cong động học chuyển biến khi làm nguội liên tục (CCT).

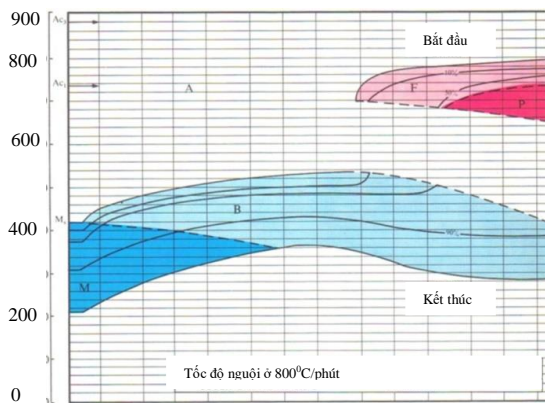
Hình 3 biểu diễn đường cong CCT của thép P22 bắt đầu nguội từ 800°C. Nhận thấy, tùy thuộc vào tốc độ nguội sẽ thu được tổ chức khác nhau. Khi tốc độ nguội chậm, tổ chức thu được là Ferrit và Peclit với tỉ phần khác nhau. Khi tăng tốc độ nguội, Austenit sẽ chuyển biến thành Bainit hoặc Mactenxit có độ cứng cao hơn. Nhiệt độ bắt đầu và kết thúc chuyển biến Mactenxit vào khoảng 390-200°C.



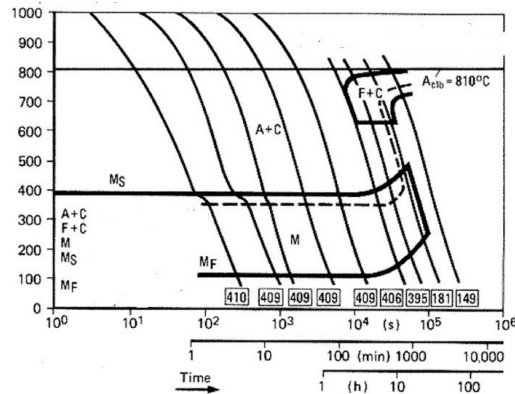
Hình 1. Giản đồ pha của thép P22 tính theo Thermo-Cal [6]



Hình 2. Giản đồ pha của thép P91 tính theo Thermo-Cal [6]



Hình 3. Đường cong CCT của thép P22 [7]



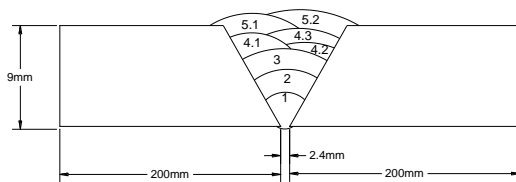
Hình 4. Đường cong CCT của thép P91 [7]

Bảng 1. Thành phần hóa học của kim loại cơ bản

| Thành phần | P22 | P91 | Điện cực ERS-B3 |
|------------|-------|-------|-----------------|
| C | 0,12 | 0,12 | 0,11 |
| Mn | 0,51 | 0,38 | 0,60 |
| Si | 0,27 | 0,28 | 0,45 |
| Cr | 2,11 | 8,31 | 2,98 |
| Ni | 0,05 | 0,09 | 0,05 |
| Mo | 1,01 | 0,89 | 0,92 |
| Cu | 0,06 | 0,09 | 0,25 |
| V | 0,005 | 0,23 | 0,027 |
| Nb | 0,005 | 0,088 | 0,013 |
| Ti | 0,005 | 0,009 | 0,005 |

Bảng 2. Cơ tính của P22 và P91 [7]

| Vật liệu | Độ bền (MPa) | Giới hạn chảy (MPa) | Độ giãn dài tương đối (%) |
|----------|--------------|---------------------|---------------------------|
| P22 | > 415 | 205 | 30 |
| P91 | 585~760 | 415 | 20 |



Hình 5. Chuẩn bị mép hàn và thứ tự hàn theo mặt cắt ngang

Bảng 3. Thông số công nghệ hàn

| TT | d _q (mm) | I (A) | U (V) | v _h (mm/ph) | Gia nhiệt | Ghi chú |
|-------|---------------------|-------|-------|------------------------|-----------|---------|
| 1 | 2,4 | 85 | 50 | 65 | 200-260 | |
| 2-5,2 | 2,4 | 109 | 55 | 70 | 200-260 | |

Đường cong CCT của thép P91 được thể hiện như trên Hình 4. Khi tiến hành làm nguội xuống dưới Ar₁ (810°C) bắt đầu có sự chuyển biến pha. Nếu tốc độ nguội đủ chậm, Ferrit và Cacbit được tiết ra từ Austenite. Tổ chức thu được tại thời điểm này là Austenit + cacbit + ferrit (nếu có). Khi tiếp tục làm nguội trong khoảng nhiệt độ M_s - M_f (390°C-110°C nhiệt độ bắt đầu và kết thúc chuyển biến Mactenxit),

Austenite sẽ chuyển biến thành Mactenxit. Như vậy, trong hầu hết tốc độ nguội, thép P91 đều thu được tổ chức Mactenxit, Cacbit và Cacbonitride.

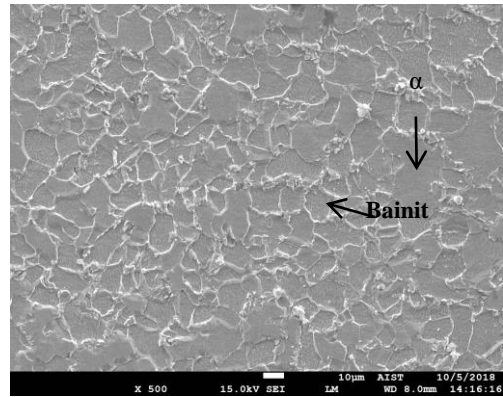
4. Thực nghiệm

4.1. Kim loại cơ bản

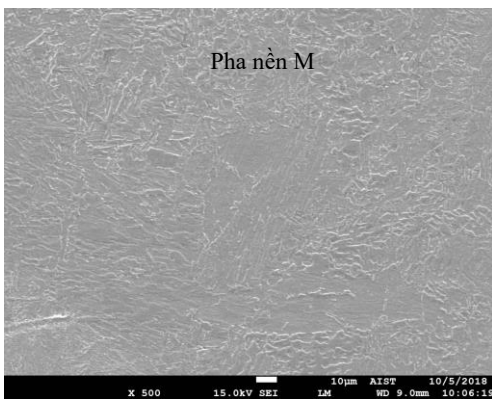
Hai ống thép chịu nhiệt P22 và P91 có kích thước Φ50 x 9 x 200 (mm) được dùng làm kim loại cơ bản.



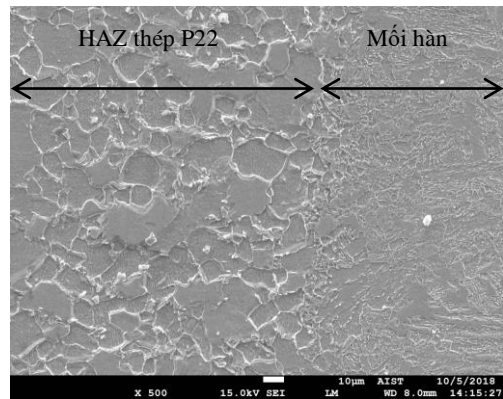
Hình 6. Mẫu thử kéo, thử uốn



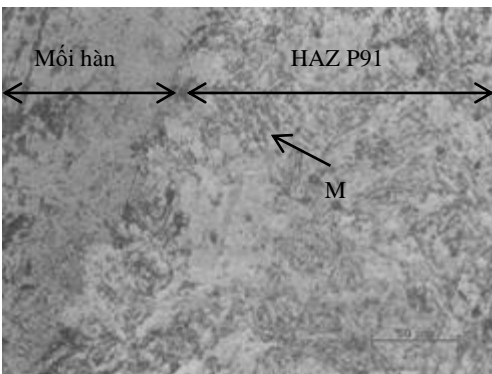
Hình 7. Vùng kim loại cơ bản của thép P22



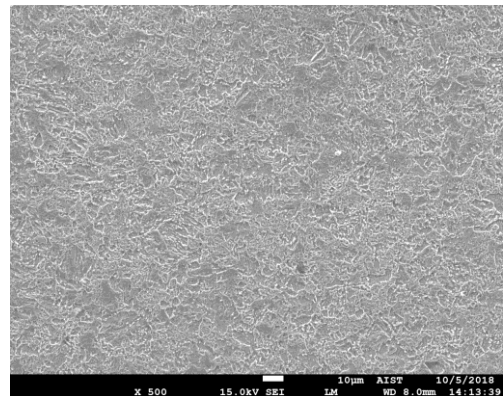
Hình 8. Vùng kim loại cơ bản thép P91



Hình 9. HAZ thép P22



Hình 10. HAZ thép P91



Hình 11. Vùng kim loại mối hàn

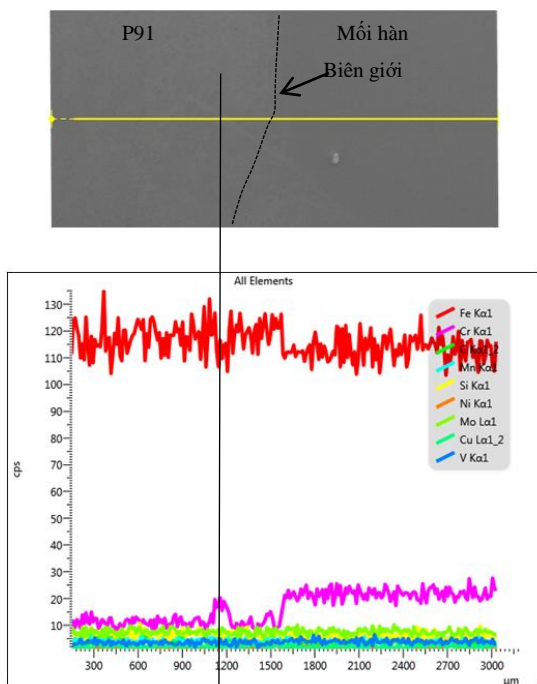
Thành phần hóa học và cơ tính của thép P22, P91 và kim loại điện cực được cho trong Bảng 1 và 2.

4.2. Quy trình hàn

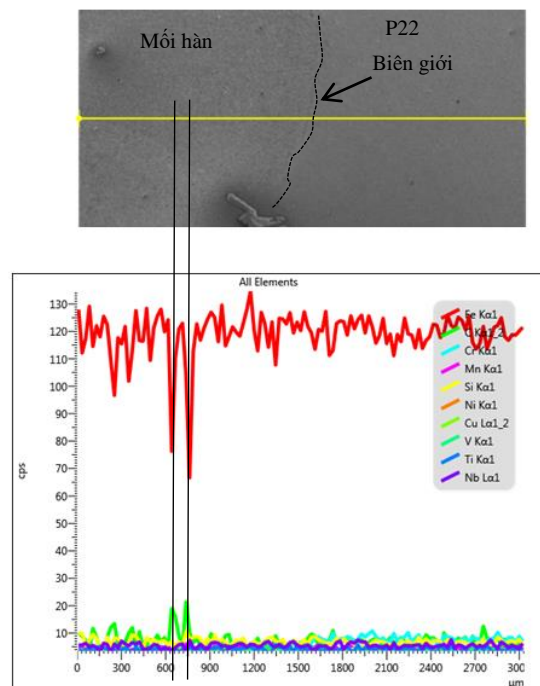
Chuẩn bị vát mép và làm sạch mẫu như Hình 5. Phương pháp hàn sử dụng là GTAW với thông số công nghệ hàn được cho trong Bảng 3. Trước khi hàn, cả hai kim loại cơ bản sẽ được gia nhiệt trong khoảng 200-260°C.

4.3. Các phương pháp kiểm tra

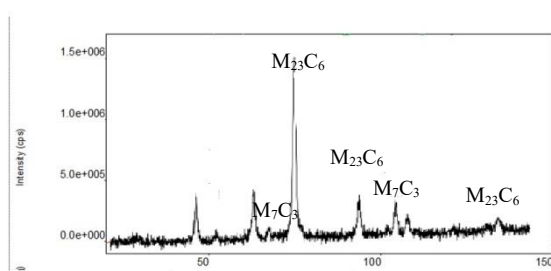
Sau khi hàn xong tiến hành cắt mẫu theo kích thước chuẩn để tiến hành thử kéo, thử uốn mối hàn (Hình 6) và đo độ cứng tế vi. Để nghiên cứu sự hình thành tổ chức tại các vùng khác nhau, cắt mẫu theo mặt cắt ngang, sau đó mài, đánh bóng và tẩm thực để chụp ảnh tổ chức trên kính hiển vi quang học, SEM, EDS.



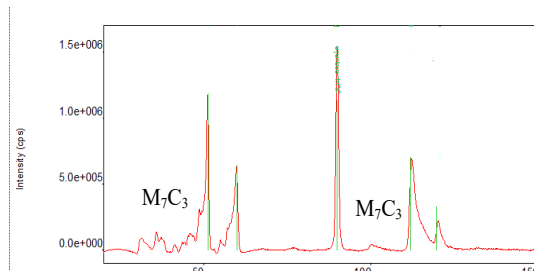
Hình 12. EDS line tại biên giới phía thép P91



Hình 13. EDS line tại biên giới phía thép P22



(a) Vùng biên giới nóng chảy phía thép P22



(b) Vùng biên giới nóng chảy phía thép P91

Hình 14. Giảm nhiễu xạ Ronghen

5. Kết quả và thảo luận

5.1. Sự thay đổi tổ chức trong môi hàn thép P22 và P91

* Vùng kim loại cơ bản

Ảnh tổ chức tế vi từ Hình 7 đến Hình 10 đã thể hiện sự thay đổi rõ rệt tổ chức tại các vùng khác nhau trong môi hàn.

Hình 7 biểu diễn tổ chức tế vi của kim loại cơ bản P22. Quan sát thấy tổ chức vùng này gồm các đảo Ferrit và bao quanh là pha Bainit. Ngược lại, hình ảnh tổ chức tế vi của thép P91 (Hình 8) chỉ rõ hình thái điển hình của các pha Mactenxit có dạng hình kim theo một hướng xác định. Các pha hình thành trong kim loại cơ bản hoàn toàn phù hợp với tổ

chức ở trong giản đồ pha. Tuy nhiên, trên ảnh tổ chức tế vi không quan sát thấy các pha cacbit.

* Vùng ảnh hưởng nhiệt (HAZ)

Theo giản đồ CCT, tùy thuộc vào tốc độ nguội sẽ thu được tổ chức khác nhau. Khi hàn, nhiệt độ tại vùng nóng chảy đạt cao nhất và nhanh chóng truyền ra môi trường xung quanh môi hàn. Vùng gần biên giới nóng chảy sẽ có tốc độ nguội lớn nhất vì nhiệt độ chênh lệch ban đầu lớn nên nhiệt độ sẽ nhanh chóng tản ra. Sau khi các vùng được nung nóng tới nhiệt độ xác định thì tốc độ nguội sẽ giảm dần. Do đó, theo giản đồ CCT có thể dự đoán tổ chức thu được trong vùng HAZ tính từ biên giới nóng chảy đến vùng kim loại cơ bản. Đối với HAZ thép P22, tổ chức hình thành gồm Mactenxit, Bainit. Đối với HAZ thép P91

tổ chức vẫn là Mactenxit. Tuy nhiên, vùng có nhiệt độ càng cao thì kích thước hạt sẽ càng lớn do các hạt có xu hướng lớn lên.

Kết quả ảnh chụp thực tế vùng HAZ của thép P22 được biểu diễn trong Hình 9. Khi so sánh ở cùng một độ phóng đại cho thấy, kích thước hạt vùng ảnh hưởng nhiệt lớn hơn so với vùng kim loại cơ bản. Ngoài ra quan sát thấy một số pha Mactenxit có kích thước hình kim nằm gần biên giới nóng chảy. Tuy nhiên, sự phân chia vùng này không rõ ràng do diện tích rất nhỏ. Trên ảnh tổ chức vẫn không phát hiện ra các pha cacbit hình thành trong vùng HAZ.

Hình 10 biểu diễn tổ chức tế vi vùng ảnh hưởng nhiệt của thép P91. Nhìn chung, hình dáng và kích thước các pha không có sự thay đổi nhiều so với kim loại cơ bản. Tổ chức thu được vẫn là các Mactenxit. Điều này hoàn toàn phù hợp với đường cong CCT của thép P91.

*** Vùng kim loại mối hàn**

Tại vùng kim loại mối hàn là nơi diễn ra quá trình kết tinh từ trạng thái lỏng sang trạng thái rắn (Hình 11). Đây là nơi hòa trộn của ba thành phần gồm P22, P91 và que hàn. Phân tích kết quả tổ chức thu được trong vùng kim loại mối hàn cho thấy, các pha phân bố đồng đều và phát triển đa hướng. Nguyên nhân là do kim loại ở trạng thái lỏng và gradient nhiệt độ theo các hướng là đồng đều nhau. Thành phần hóa học của điện cực gần giống với thép P22 nên tổ chức thu được gồm Ferrit và Bainit.

Khi tiến hành thử kéo, mối hàn bị phá hủy tại vùng HAZ bên phía P22 với độ bền kéo đạt 541,4MPa và độ bền uốn đạt 525MPa. Điều này hoàn toàn phù hợp với tổ chức thu được tại các vùng khác nhau trong mối hàn.

5.2. Sự kết pha trong mối hàn P22 và P91

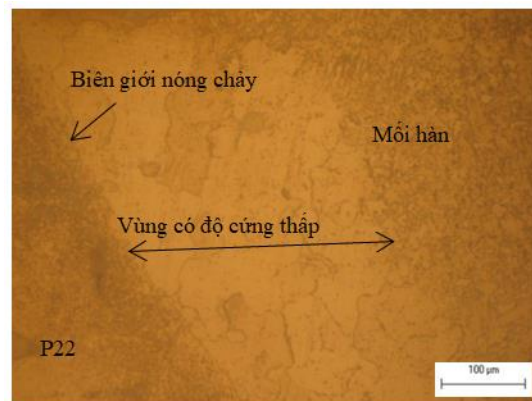
Theo kết quả phân tích hình ảnh tổ chức tế vi ở Mục 5.1 không quan sát thấy các pha cacbit được tiết ra trong mối hàn giữa thép chịu nhiệt P22 và P91. Do đó, nghiên cứu sẽ thực hiện các phân tích sâu hơn để tìm kiếm các pha này.

Sự phân bố thành phần của các nguyên tố hợp kim tại biên giới giữa mối hàn và HAZ P91, HAZ P22 được thể hiện như Hình 12, Hình 13. Trên Hình

12 có sự thay đổi rõ rệt về hàm lượng của Crom từ phía HAZ thép P91 tới vùng kim loại mối hàn. Tại một số vị trí dọc theo mối hàn có các điểm hàm lượng crom tăng, đây dự đoán là vị trí của Cacbit crom được tiết ra trong quá trình hàn. Tiếp tục phân tích bằng nhiễu xạ tia Ronghen có thể kết luận về sự xuất hiện của các pha cacbit $M_{23}C_6$, M_7C_3 tại các vùng trong mối hàn.

5.3. Sự xuất hiện pha có độ cứng thấp tại biên giới nóng chảy mối hàn thép P22 và P91

Theo đánh giá thực tế, các mối hàn thép P22 và P91 khi làm việc ở nhiệt độ cao trong thời gian dài sẽ dễ bị hư hỏng tại gần biên giới mối hàn. Nguyên nhân dẫn tới hiện tượng này là do có sự hình thành các vùng khác nhau tại biên giới mối hàn. Dựa theo kết quả tổ chức tế vi thu được tại biên giới thép P91 cho thấy, xuất hiện vùng màu trắng rộng khoảng 200-250(μ m) xuất hiện dọc theo biên giới (Hình 15).



Hình 15. Hình thành vùng có độ cứng thấp tại biên giới nóng chảy thép P22

Theo Bảng 4, giá trị độ cứng đo được tại vùng này thấp hơn so với các vùng lân cận. Điều này được giải thích là do khi mối hàn làm việc ở nhiệt độ cao, cacbon sẽ khuếch tán từ bên có nguyên tố hợp kim thấp sang bên phía có hàm lượng nguyên tố hợp kim cao hơn, do đó hình thành vùng có độ cứng thấp và vùng có độ cứng cao trong mối hàn. Đây là nguyên nhân làm giảm mạnh độ cứng ở vùng này. Tuy nhiên, vẫn cần có các nghiên cứu sâu hơn để tìm hiểu rõ cơ chế và các pha hình thành.

Bảng 4. Giá trị độ cứng tại vùng lân cận biên giới nóng chảy phía P91

| Vị trí (μ m) | 0 | 50 | 100 | 150 | 200 | 250 | 300 | 400 | 500 |
|-------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Mối hàn (HV) | 110 | 123 | 125 | 124 | 130 | 142 | 152 | 154 | 153 |
| HAZ P91 (HV) | 185 | 189 | 192 | 198 | 194 | 196 | 198 | 192 | 201 |

6. Kết luận

Dựa trên cơ sở lý thuyết kết hợp với thực nghiệm, nghiên cứu đã chỉ ra các tổ chức pha hình thành trong quá trình hàn thép chịu nhiệt thép P22 và thép P91. Vùng HAZ của thép P22 gồm các pha Ferrit và Bainit trong khi tổ chức vùng HAZ thép P91 là pha Mactenxit. Bên cạnh đó, trong mỗi hàn còn xuất hiện các pha cacbit $M_{23}C_6$ và M_7C_3 . Kết quả còn chỉ ra sự hình thành vùng có độ cứng thấp nằm dọc biên giới nóng chảy thép P91 có thể là do sự khuếch tán của cacbon khi mỗi hàn làm việc ở nhiệt độ cao trong thời gian dài. Tuy nhiên, để tìm hiểu cơ chế và các pha hình thành tại vùng này cần phải thực hiện thêm các nghiên cứu chuyên sâu.

Lời cảm ơn

Nghiên cứu này được tài trợ bởi Trường Đại học Hàng hải Việt Nam trong đề tài mã số: **DT22-23.38**.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Sirohi, S., Gupta, A., Pandey, C., Vidyarthi, R. S., Guguloth, K., & Natu, H. (2022). *Investigation of the microstructure and mechanical properties of the laser welded joint of P22 and P91 steel*. Optics & Laser Technology, Vol.147, 107610.
- [2] Kulkarni, A., Dwivedi, D. K., & Vasudevan, M. (2018). *Study of mechanism, microstructure and mechanical properties of activated flux TIG welded P91 Steel-P22 steel dissimilar metal joint*. Materials Science and Engineering: A, Vol.731, pp.309-323.
- [3] Mahajan, S., & Chhibber, R. (2020). *Experimental investigations on P22/P91 dissimilar shielded metal arc welds for power plant applications*. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part L: Journal of Materials: Design and Applications, Vol.234(10), pp.1313-1324.
- [4] Hamata, N. L. M., & Shibli, I. A. (2001). *Creep crack growth of seam-welded P22 and P91 pipes with artificial defects*. Part I. Experimental study and post-test metallography. International journal of pressure vessels and piping, Vol.78(11-12), pp.819-826.
- [5] Dogan, B., & Petrovski, B. (2001). *Creep crack growth of high temperature weldments*. International Journal of Pressure Vessels and Piping, Vol.78(11-12), pp.795-805.
- [6] Šohaj, P., Jan, V., & Dvořáček, O (2010). *Evaluation of microstructural stability of creep-resistant steels weld joints on the basis of a computational modeling*, METAL 2010. In 19th International Metallurgical and Materials Conference, Rožnov pod Radhoštěm, Česká Republika, <https://www.vutbr.cz/en/research-and-development/publications>.
- [7] Karl E. Dawson, (2012). *Dissimilar metal welds*. Thesis submitted in accordance with the requirements of the University of Liverpool for the degree of Doctor in Philosophy.

| | |
|--------------------|------------|
| Ngày nhận bài: | 26/12/2022 |
| Ngày nhận bản sửa: | 03/01/2023 |
| Ngày duyệt đăng: | 09/01/2023 |

LỰA CHỌN CHIỀU CAO ĐÁP ỨNG HIỆU QUẢ TIÊU TÁN SÓNG ĐƠN CỦA ĐÊ CHẮN SÓNG TƯỜNG ĐỨNG KẾT CẤU RỖNG

DETERMINATION OF VERTICAL POROUS BREAKWATER HEIGHT ADAPTING DISSIPATION EFFICIENCY FOR SOLITARY WAVES

PHẠM VĂN KHÔI

Khoa Công trình, Trường Đại học Hàng hải Việt Nam

Email liên hệ: khoipv.ctt@vimaru.edu.vn

Tóm tắt

Đê chắn sóng tường đứng kết cấu rỗng là một trong số các loại đê rỗng được thử nghiệm phát huy hiệu quả giảm sóng, bảo vệ bờ biển đồng bằng sông Cửu Long. Tuy nhiên, việc xác định chiều cao của đê chắn sóng đáp ứng hiệu quả tiêu tán sóng chưa được chỉ ra trong các nghiên cứu gần đây. Bài báo này dùng mô hình số Flow 3D để mô phỏng tương tác của đê chắn sóng tường đứng kết cấu rỗng với sóng đơn cho 36 kịch bản. Từ đó xác định hiệu quả tiêu tán sóng đơn dựa vào đặc trưng của đê rỗng và các thông số sóng tới, sóng phản xạ và sóng truyền qua đê. Phương pháp phân tích hệ số tiêu tán sóng được sử dụng để xác định chiều cao tối ưu của đê cho từng trường hợp tính toán cụ thể.

Từ khóa: Mô hình số, mô hình Flow 3D, sóng đơn, đê chắn sóng tường đứng kết cấu rỗng, hệ số tiêu tán.

Abstract

The vertical porous breakwater is one of several applied breakwaters which reveal the dissipation efficiency of breakwater structures at the Mekong river delta. However, determining the breakwater height adapting the dissipation efficiency has not been recently implemented yet. This paper uses the Flow 3D model to simulate the interactions between the vertical porous breakwater and the solitary waves in 36 simulating scenarios. Furthermore, the dissipation efficiency of the vertical porous breakwater for solitary waves depends on the characteristics of the incident, reflected and transmitted waves. The dissipation coefficient analysis method is used to investigate the optimization breakwater height for each specific case.

Keywords: numerical model, Flow 3D model, solitary wave, vertical porous breakwater, dissipation coefficient.

1. Giới thiệu

Hiện nay, tuyến bờ biển đồng bằng sông Cửu Long vẫn đang bị sạt lở nghiêm trọng do tác dụng của sóng biển, đe dọa an ninh lương thực quốc gia và thế giới. Để khắc phục hiện tượng xâm thực trên, một số kết cấu dạng rỗng mới được áp dụng thử nghiệm cho thấy phát huy tác dụng chống xói [1], điển hình có thể kể đến kết cấu đê tường đứng dạng rỗng bằng hàng rào tre [2, 3, 4]. Các nghiên cứu [2, 3, 4] chỉ ra hiệu quả giảm sóng mà chưa đưa ra được cách xác định chiều cao tối ưu của loại đê chắn sóng tường đứng kết cấu rỗng. Vì thế, bài báo này sử dụng mô hình số Flow 3D để xác định chiều cao tối ưu của đê chắn sóng tường đứng kết cấu rỗng đáp ứng hiệu quả tiêu tán sóng đơn. Mô hình Flow 3D đã được chứng minh cho kết quả mô phỏng chính xác cho các dạng kết cấu công trình thủy lợi [5, 6] cũng như kết cấu đê chắn sóng dạng rỗng phức tạp [7]. Trong nghiên cứu này, mô hình Flow 3D được kiểm chuẩn với điều kiện biên sóng đơn và dòng chảy qua kết cấu rỗng để khẳng định độ tin cậy của mô hình tính toán. Các điều kiện biên sóng đơn và các đặc trưng của đê kết cấu rỗng được xây dựng trong thí nghiệm vật lý với 36 kịch bản mô phỏng, từ đó xác định chiều cao tối ưu của đê đáp ứng hiệu quả tiêu tán sóng đơn.

2. Mô hình Flow 3D

Trong nghiên cứu này, mô hình Flow 3D được sử dụng để mô phỏng tương tác giữa sóng đơn với đê chắn sóng tường đứng kết cấu rỗng.

2.1. Hệ phương trình chủ đạo áp dụng cho kết cấu rỗng

Hệ phương trình chủ đạo được áp dụng là hệ phương trình ba chiều Navier-Stokes, phương trình liên tục và phương trình động lượng trong kết cấu rỗng như sau:

$$\nabla \cdot (\mathbf{A}\mathbf{u}) = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial \mathbf{u}}{\partial t} + \frac{1}{V_F} \nabla \cdot (\mathbf{A}\mathbf{u}\mathbf{u}) = -\frac{1}{\rho} \nabla \cdot \mathbf{p} + \mathbf{G} + \mathbf{f}_v - \mathbf{f}_p \quad (2)$$

Trong đó: $\nabla = (\partial/\partial x, \partial/\partial y, \partial/\partial z)$ là toán tử vi phân, $\mathbf{u} = (u, v, w)$ tương ứng là vận tốc dòng chảy theo các phương x, y, z ; ρ là khối lượng riêng nước; p là áp suất; G là gia tốc bản thân; f_v là gia tốc nhớt; và f_p là tổn thất dòng chảy trong kết cấu rỗng. Với mô hình Flow 3D, đường lưới sẽ nhận diện kích thước hình học kết cấu rỗng bằng phương pháp tỷ lệ. Do đó, A là tỷ lệ diện tích nước chiếm chỗ và V_F là tỷ lệ thể tích nước chiếm chỗ trong hệ tọa độ Đề các.

Kỹ thuật chuyển đổi thể tích chất lỏng VOF (volume of fluid) để phân biệt các pha lỏng và khí được thể hiện qua phương trình:

$$\frac{\partial V_w}{\partial t} + \frac{1}{V_F} \nabla \cdot (V_w \mathbf{A} \mathbf{u}) = 0 \quad (3)$$

Trong đó: V_w là tỷ lệ thể tích chất lỏng (nước) trong lưới tính toán, $V_w = 0, 0 < V_w < 1$ và $V_w = 1$ tương ứng thể hiện các pha khí, giao diện và nước.

Véc tơ gia tốc nhớt f_v thể hiện lực cản do tính nhớt của chất lỏng trong hệ tọa độ Đề các ba chiều được trình bày chi tiết trong [8]. Thành phần tổn thất dòng chảy trong kết cấu rỗng f_p được xác định theo nguyên lý lực kéo bão hòa Forchheimer [9] được xác định như sau:

$$f_p = F_D \frac{\mathbf{u}}{\lambda} \quad (4)$$

Trong đó: λ là độ lỗ rỗng, F_D là thành phần lực kéo bão hòa Forchheimer được phân tích từ thành phần tuyến tính và phi tuyến:

$$F_D = \alpha_l \frac{\mu}{\rho} \left(\frac{1-\lambda}{\lambda} \right)^2 + \alpha_t \frac{1-\lambda}{\lambda} \frac{|\mathbf{u}|}{\lambda} \quad (5)$$

Trong đó: α_l và α_t tương ứng là hệ số sức cản do chảy tầng và chảy rối.

Mô hình chảy rối sử dụng hệ số nhớt động lực μ và hai phương trình tổn thất năng lượng $k - \varepsilon$, được thể hiện như sau [10]:

$$\begin{aligned} \frac{\partial k}{\partial t} + \frac{1}{V_F} \left(u A_x \frac{\partial k}{\partial x} + v A_y \frac{\partial k}{\partial y} + w A_z \frac{\partial k}{\partial z} \right) \\ = P_T + G_T + D_k - \varepsilon \end{aligned} \quad (6)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial \varepsilon}{\partial t} + \frac{1}{V_F} \left(u A_x \frac{\partial \varepsilon}{\partial x} + v A_y \frac{\partial \varepsilon}{\partial y} + w A_z \frac{\partial \varepsilon}{\partial z} \right) \\ = \frac{C_{1\varepsilon} \varepsilon}{k} (P_T + C_{3\varepsilon} G_T) + D_\varepsilon - C_{2\varepsilon} \frac{\varepsilon^2}{k} \end{aligned} \quad (7)$$

Trong đó P_T là thành phần năng lượng động học rối; G_T là thành phần lực đẩy nổi; D_k và D_ε tương ứng là các thành phần khuếch tán với các biến k và ε , và $C_{1\varepsilon}, C_{2\varepsilon}, C_{3\varepsilon}$ là các hệ số được sử dụng.

2.2. Điều kiện biên sóng đơn

Mô hình Flow 3D sử dụng lý thuyết sóng đơn của McCowan [11]:

$$\eta = h \frac{N}{M} \frac{\sin \left[M \left(1 + \frac{\eta}{h} \right) \right]}{\cos \left[M \left(1 + \frac{\eta}{h} \right) \right] + \cosh \left[M \frac{x-ct}{h} \right]} \quad (8)$$

Trong đó: η là tung độ bề mặt, h là chiều sâu nước tĩnh. c là vận tốc sóng được xác định theo:

$$c = \bar{u} + c_0 \quad (9)$$

$$c_0 = \sqrt{g(h+H)} \quad (10)$$

Trong đó: \bar{u} là vận tốc dòng chảy trong sóng, c_0 là vận tốc sóng tại mực nước tĩnh, H là chiều cao sóng.

Vận tốc phần tử sóng được tính toán theo:

$$u = \bar{u} + c_0 N \frac{1 + \cos \left(\frac{Mz}{h} \right) \cosh \left(M \frac{x-ct}{h} \right)}{\left[\cos \left(\frac{Mz}{h} \right) + \cosh \left(M \frac{x-ct}{h} \right) \right]^2} \quad (11)$$

$$w = c_0 N \frac{\sin \left(\frac{Mz}{h} \right) \sinh \left(M \frac{x-ct}{h} \right)}{\left[\cos \left(\frac{Mz}{h} \right) + \cosh \left(M \frac{x-ct}{h} \right) \right]^2} \quad (12)$$

Trong đó đại lượng N và M thỏa mãn hai phương trình sau:

$$\frac{H}{h} = \frac{N}{M} \tan \left[\frac{1}{2} M \left(1 + \frac{H}{h} \right) \right] \quad (13)$$

$$N = \frac{2}{3} \sin^2 \left[M \left(1 + \frac{2}{3} \frac{H}{h} \right) \right] \quad (14)$$

Phương pháp thử dần Newton-Raphson được sử dụng để giải các phương trình trên. Giá trị ban đầu của M và N tương ứng là $(3H/h)^{1/2}$ và $2H/h$.

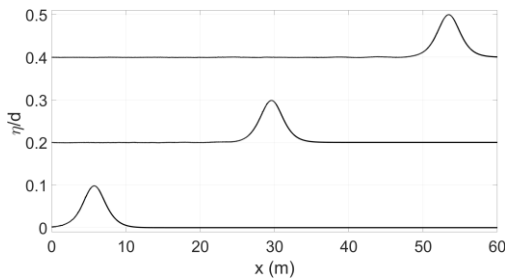
Giá trị ban đầu của tung độ mặt sóng đơn được xác định theo:

$$\eta_0 = H \operatorname{sech}^2 \left[\sqrt{\frac{3}{4}} \frac{H}{h} \left(\frac{x-ct}{h} \right) \right] \quad (15)$$

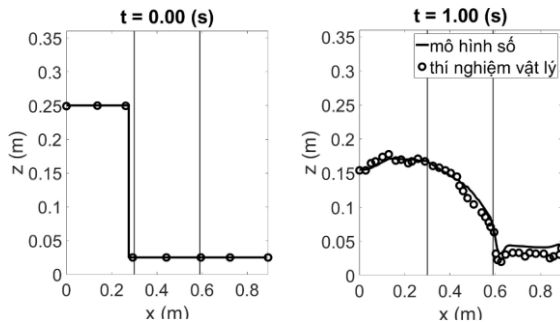
3. Kiểm chuẩn mô hình số

Do mục tiêu của bài báo là mô phỏng tương tác sóng đơn với đê chắn sóng tường đứng kết cấu rỗng, mô hình số Flow 3D được kiểm chuẩn cho bài toán lan truyền sóng đơn và tương tác dòng chảy với kết cấu rỗng.

Ở bài toán kiểm chuẩn thứ nhất, sự lan truyền của sóng đơn được mô phỏng với những bước thời gian khác nhau được thể hiện trên Hình 1. Theo đó, biên độ sóng đơn không thay đổi, hình dạng sóng đơn dọc theo miền tính toán (dài đến 60m) vẫn giữ được độ ổn định. Từ đó, mô hình Flow 3D mô phỏng ổn định lan truyền của sóng đơn.



Hình 1. Kiểm chuẩn lan truyền ổn định của sóng đơn



Hình 2. Kiểm chuẩn sự làm việc của kết cấu rỗng

Bài toán kiểm chuẩn thứ hai mô phỏng bài toán dòng chảy sau vỡ đập qua kết cấu rỗng [12], có chiều rộng từ $x = 0,3\text{m}$ tới $x = 0,59\text{m}$, như trên Hình 2. Ở thời điểm ban đầu ($t = 0\text{s}$), mực nước thượng lưu là $0,25\text{m}$, mực nước hạ lưu là $0,025\text{m}$ và cột nước chênh lệch cách bề mặt kết cấu rỗng 2cm . Kích thước lưới tính toán của mô hình số được lựa chọn là $dx = dy = 1\text{cm}$, $dz = 0,5\text{cm}$. Hệ số lực cản chảy tầng là 10000 và hệ số lực cản chảy rối là 80 . Sau khi vỡ đập, nước sẽ chảy từ thượng lưu xuống hạ lưu, một phần chảy

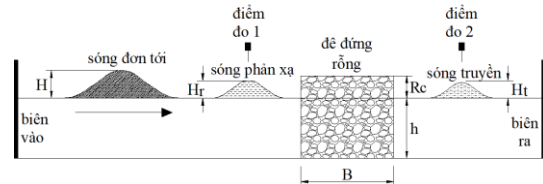
truyền qua kết cấu rỗng, một phần phản xạ lại thượng lưu. Tại thời điểm $t = 1\text{s}$, kết quả từ mô hình ba chiều được xem là khá phù hợp với kết quả từ thí nghiệm vật lý. Điều này cho thấy mô hình Flow 3D mô phỏng tốt bài toán dòng chảy qua kết cấu rỗng.

Từ hai bài toán kiểm chuẩn trên, có thể áp dụng mô hình Flow 3D để mô phỏng bài toán sóng đơn tương tác với đê tường đứng kết cấu rỗng.

4. Kết quả mô phỏng và cách xác định chiều cao tối ưu đê rỗng

4.1. Thiết lập mô hình

Mô hình số mô phỏng tương tác sóng đơn với đê tường đứng rỗng được thiết lập theo Hình 3.



Hình 3. Thiết lập mô hình mô phỏng tương tác sóng đơn với đê chắn sóng tường đứng kết cấu rỗng

Theo Hình 3, sóng đơn tới (chiều cao H) được lan truyền từ biển vào gặp mặt đê tường đứng rỗng phản xạ lại một phần và truyền qua đê một phần. Bằng cách đặt các điểm đo thích hợp ở mặt trước và mặt sau đê, chiều cao sóng phản xạ (H_r) và chiều cao sóng truyền (H_t) qua đê sẽ được xác định. Từ đó, xác định được các hệ số phản xạ $k_r (=H_r/H)$ và hệ số truyền $k_t (=H_t/H)$. Hệ số tiêu tán sóng k_d được xác định theo công thức:

$$k_d = \sqrt{1 - k_r^2 - k_t^2} \quad (16)$$

Bảng 1. Các thông số được sử dụng để mô phỏng

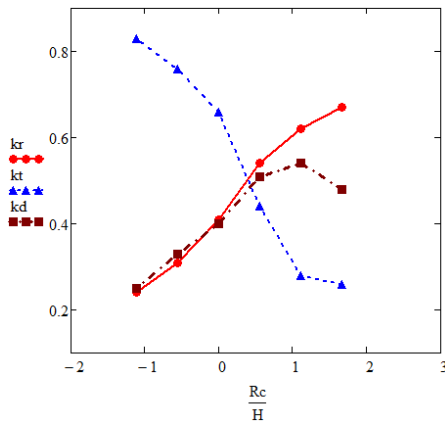
| | | | | | | |
|------------|------|----|------|----|----|----|
| B (cm) | 20 | | | | | |
| λ | 0,45 | | 0,55 | | | |
| R_c (cm) | -10 | -5 | 0 | 5 | 10 | 15 |
| h (cm) | 35 | 40 | 45 | 50 | 55 | |
| H (cm) | 6 | | 9 | | 12 | |
| d (cm) | 5 | | | | | |

Trong thí nghiệm số này, với mục đích tìm ra đặc trưng tương tác sóng đơn với đê tường đứng kết cấu rỗng, 36 kịch bản được thiết lập dựa trên các thông số như trong Bảng 1. Hệ số lực cản chảy tầng và chảy rối lấy như kết quả trong phần kiểm chuẩn mô hình. Đê rỗng có bề rộng 20cm và đường kính viên đá 5cm .

Mức nước tĩnh thay đổi dẫn tới sự thay đổi của chiều sâu nước h (5 giá trị) và chiều cao lưu không R_c (6 giá trị). Có 2 trường hợp $R_c < 0$ (đê ngầm) và 4 trường hợp $R_c \geq 0$ (đê nổi) tạo thành 6 trường hợp khác nhau của chiều cao lưu không. 6 trường hợp trên được kiểm tra với 3 chiều cao sóng tới và 2 giá trị độ rộng đại diện [2, 4] tạo nên tổng cộng 36 kịch bản.

4.2. Kết quả mô phỏng tương tác sóng đơn với đê chắn sóng tường đứng rỗng

Do khuôn khổ nội dung bài báo có giới hạn, tác giả lựa chọn thể hiện kết quả mô phỏng đại diện cho trường hợp chiều cao sóng tới là 9cm và độ rộng là 0,45. Giá trị các hệ số phản xạ, truyền và tiêu tán được mô phỏng cho 6 giá trị của chiều cao lưu không tương đối R_c/H được thể hiện trên Hình 4.



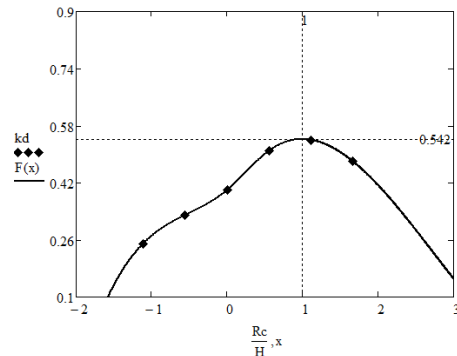
Hình 4. Hệ số phản xạ, hệ số truyền và hệ số tiêu tán sóng đơn cho trường hợp $H = 9\text{cm}$; $\lambda = 0,45$.

Trên Hình 4, với trường hợp đê ngầm ($R_c/H < 0$), sức cản sóng của đê nhỏ, thành phần sóng truyền qua đê lớn hơn thành phần sóng phản xạ ($kt > kr$). Ngược lại, với trường hợp đê nổi ($R_c/H > 0$), sức cản sóng của đê lớn, thành phần sóng phản xạ lớn hơn thành phần sóng truyền qua đê ($kr > kt$). Điều này hoàn toàn phù hợp với bản chất vật lý tự nhiên. Đặc trưng năng lượng tiêu tán sóng cũng tăng dần từ trường hợp đê ngầm tới trường hợp đê nổi. Điều đặc biệt, khi chiều cao lưu không tương đối R_c/H lớn ($R_c/H > 1$), hệ số tiêu tán có khuynh hướng giảm. Điều này cho thấy chiều cao đê đáp ứng hiệu quả tiêu tán sóng sẽ đạt tới một giá trị tối đa nào đó, và vượt qua giá trị tối đa đó, hiệu quả tiêu tán sóng sẽ bị giảm.

4.3. Phương pháp phân tích hệ số tiêu tán sóng xác định chiều cao tối ưu đê chắn sóng tường đứng rỗng

Trong phần này, tác giả đi sâu vào phân tích xác định giá trị tối đa đáp ứng hiệu quả tiêu tán sóng, từ đó xác định được chiều cao lưu không tối ưu R_c cho

trường hợp phân tích ở phần 4.2. Hình 5 thể hiện kết quả xác định giá trị tối đa của hệ số tiêu tán sóng kd , từ đó xác định chiều cao lưu không R_c theo tỷ số R_c/H .



Hình 5. Xác định chiều cao đê cho trường hợp $H = 9\text{cm}$; $\lambda = 0,45$.

Trên Hình 5, hàm $F(x)$ là đường cong trơn được xác định từ 6 điểm có tọa độ $(R_c/H, kd)$ và dùng để nội suy giá trị cực trị của kd . Từ đó, điểm cực trị được xác định là $(R_c/H, kd) = (1, 0.542)$. Như vậy, giá trị chiều cao lưu không tối ưu được xác định $R_c = 1H$. Tương tự, tác giả tính toán với trường hợp đê có độ rộng $\lambda = 0,55$ sẽ được giá trị tương ứng của R_c . Mở rộng ra tính toán tương tự cho trường hợp chiều cao sóng tới 6cm và 12 cm, sẽ thu được tổng cộng 6 giá trị của R_c tương ứng như kết quả thể hiện ở Bảng 2.

Bảng 2. Kết quả xác định chiều cao tối ưu của đê

| H | 6cm | | 9cm | | 12cm | |
|-----------|------------|------------|----------|----------|----------|------------|
| λ | 0,45 | 0,55 | 0,45 | 0,55 | 0,45 | 0,55 |
| R_c/H | 0,7 | 0,8 | 1 | 1 | 1 | 1,3 |

Theo kết quả từ Bảng 2, người sử dụng có thể lựa chọn chiều cao tối ưu của đê chắn sóng tường đứng kết cấu rỗng tùy theo từng trường hợp cụ thể của đặc trưng sóng đơn tới và cấu tạo đê rỗng. Có thể thấy tổng quát, chiều cao tĩnh không đê rỗng bằng chiều cao sóng tới thì hiệu quả tiêu tán sóng là lớn nhất.

5. Kết luận

Trong bài báo này, tác giả đã trình bày cách xác định chiều cao tối ưu đê chắn sóng tường đứng kết cấu rỗng đáp ứng hiệu quả tiêu tán sóng đơn. Tác giả lựa chọn mô hình Flow 3D để mô phỏng số tương tác giữa sóng đơn và đê chắn sóng tường đứng kết cấu rỗng. Mô hình Flow 3D sử dụng hệ phương trình Navier-Stokes được xem là phù hợp khi mô phỏng đồng thời lan truyền của sóng đơn và kết cấu đê rỗng qua các thí nghiệm kiểm chuẩn. Mô hình số được thiết lập để mô phỏng 36 kịch bản khác nhau của các thông số sóng

đơn và đê rồng. Kết quả mô phỏng thể hiện được các đặc trưng phân xạ, truyền và tiêu tán sóng của đê rồng đối với sóng đơn. Tác giả đã chỉ ra phương pháp và xác định cụ thể 6 giá trị tối ưu của chiều cao đê đáp ứng hiệu quả tiêu tán sóng đơn. Kết quả của bài báo có thể áp dụng cho mô hình thực nghiệm của đê chắn sóng tường đứng kết cấu rồng với nhiều điều kiện biên khác nhau trong thực tế.

Lời cảm ơn

Nghiên cứu này được tài trợ bởi Trường Đại học Hàng hải Việt Nam trong đề tài mã số: **DT22-23.72**.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Hung P. Đ., Hòa T. Đ., and Nam N. N. (2021), *Đê cọc rồng mặt cắt hình móng ngựa - giải pháp công nghệ mới trong bảo vệ bờ biển*, Tạp Chí Khoa học và Công nghệ Thủy Lợi, No.69, pp.1-6.
- [2] T. Dao, M. J. F. Stive, B. Hofland, and T. Mai (2018), *Wave Damping due to Wooden Fences along Mangrove Coasts*, J. Coast. Res., Vol.34, No.6, pp.1317-1327, doi: 10.2112/JCOASTRES-D-18-00015.1.
- [3] T. Mai, T. Dao, A. Ngo, and C. Mai (2019), *Porosity Effects on Wave Transmission Through a Bamboo Fence*, Proceedings of the 10th International Conference on Asian and Pacific Coasts, Springer Nature Singapore Pte Ltd., pp.1413-1418.
- [4] T. Thieu Quang and L. Mai Trong (2020), *Monsoon wave transmission at bamboo fences protecting mangroves in the lower mekong delta*, Appl. Ocean Res., Vol.101, p.102259, doi: 10.1016/j.apor.2020.102259.
- [5] P. Văn Khôi and V. Văn Nghi (2021), *Mô hình dòng chảy ba chiều: lý thuyết, kiểm chuẩn và ứng dụng mô phỏng đập tràn kiểu xi phông*, Tạp Chí Khoa học Công nghệ Hàng hải, Số 67 (8/2021), tr.73-77.
- [6] P. V. Khôi, P. T. Ngà, and Đ. T. H. Ngọc (2022), *Mô hình dòng chảy ba chiều: công cụ van khí và ứng dụng điều chỉnh lưu lượng xả nước đập tràn xi phông*, Tạp chí Khoa học Công nghệ Hàng hải, Số 69 (01/2022), tr.57-61.
- [7] A. Gomes, J. L. S. Pinho, T. Valente, J. S. Antunes do Carmo, and A. V. Hegde (2020), *Performance Assessment of a Semi-Circular Breakwater through CFD Modelling*, J. Mar. Sci. Eng., Vol.8, No.3, p.226, doi: 10.3390/jmse8030226.
- [8] E. Zhao, Y. Dong, Y. Tang, and X. Xia (2021), *Performance of submerged semi-circular breakwater under solitary wave in consideration of porous media*, Ocean Eng., Vol.223, p.108573, doi: 10.1016/j.oceaneng.2021.108573.
- [9] S. Ergun (1952), *Fluid flow through packed columns*, Chem. Eng. Prog., Vol.48, pp.89-94.
- [10] F. H. Harlow (1967), *Turbulence Transport Equations*, Phys. Fluids, Vol.10, No.11, p.2323, doi: 10.1063/1.1762039.
- [11] J. McCowan (1891), *VII. On the solitary wave*, Lond. Edinb. Dublin Philos. Mag. J. Sci., Vol.32, No.194, pp.45-58, doi: 10.1080/14786449108621390.

| | |
|--------------------|------------|
| Ngày nhận bài: | 20/12/2022 |
| Ngày nhận bản sửa: | 28/12/2022 |
| Ngày duyệt đăng: | 30/12/2022 |

CƯỜNG ĐỘ VÀ SỨC KHÁNG CHLORIDE XÂM NHẬP CỦA BÊ TÔNG SỬ DỤNG POZZOLAN TỰ NHIÊN VÀ BỘT ĐÁ VÔI

THE COMPRESSIVE STRENGTH AND CHLORIDE RESISTANCE OF CONCRETE CONTAINING NATURAL POZZOLAN AND LIMESTONE POWDER

PHẠM VĂN TOÀN*, PHẠM THỊ LY

Khoa Công trình, Trường Đại học Hàng hải Việt Nam

*Email liên hệ: toanpv@vamaru.edu.vn

Tóm tắt

Bài báo nghiên cứu ảnh hưởng của Pozzolan tự nhiên và bột đá vôi được sử dụng thay thế một phần cho cốt liệu hạt mịn đối với cường độ và sức kháng chloride (Cl^-) của bê tông trong môi trường đất nhiễm phèn, nhiễm mặn, ... đây là một trong những ion nguy hại nhất cho kết cấu bê tông cốt thép. Kết quả nghiên cứu cho thấy sử dụng Pozzolan tự nhiên có thể nâng cao cường độ của bê tông và sức kháng chloride thâm nhập trong các môi trường này. Trong khi đó, sự có mặt của bột đá vôi cải thiện không đáng kể đến cường độ nhưng lại góp phần tăng sức kháng chloride của bê tông.

Từ khóa: Pozzolan tự nhiên, bột đá vôi, chloride ion, cường độ, độ bền của bê tông.

Abstract

This study investigated the effects of limestone powder and natural Pozzolan as partial aggregate replacement on the compressive strength and Chloride (Cl^-) impermeability of concretes caused by the attack of an aggressive chemical solution composed of ion Cl^- such as sea water invasion. The results showed that the utilization of natural Pozzolan can improve the compressive strength and chloride resistance of concrete. The addition of limestone powder can result in insignificant effect on the compressive strength, however, considerably improve the chloride resistance of concrete.

Keywords: Natural pozzolan, Limestone powder, chloride ion, compressive strength, durability of concrete.

liệu sẵn có của địa phương, đa dạng hóa nguồn vật liệu xây dựng trong bối cảnh nguồn vật liệu đang dần cạn kiệt, giảm khí thải CO_2 do sử dụng vật liệu là xi măng OPC, ... Xuất phát từ những lý do trên, đã có rất nhiều nghiên cứu về việc sử dụng các vật liệu xây dựng thay thế như tro bay là phụ phẩm của các nhà máy sản xuất xi măng, xi lò cao là phụ phẩm của các nhà máy luyện thép, Silica fume, Pozzolan tự nhiên và bột đá vôi pha trộn trong hỗn hợp Portland xi măng (OPC) đã được thực hiện nhằm cải thiện tính năng cơ lý và độ bền của bê tông đồng thời đem lại hiệu quả kinh tế - kỹ thuật và giảm tác động đến môi trường [1-5].

Việc sử dụng đá vôi trong hỗn hợp bê tông bao gồm cả việc thay thế cho xi măng cũng như thay thế cho cốt liệu đã trở nên phổ biến trên toàn thế giới bởi các lợi ích về kinh tế - kỹ thuật như tăng tỷ trọng và tăng tính chống thấm của bê tông. Tiêu chuẩn châu Âu - the European standard (EN 197-1-2000) [6] và tiêu chuẩn Mỹ ASTM standard (C150-04) [7] cho phép tỷ lệ bột đá vôi trong xi măng chiếm từ 5% cho đến 35%. Makhaloufi và các cộng sự [8] cũng công bố rằng việc kết hợp của bột đá vôi cùng với Pozzolan tự nhiên, xi lò cao và silica fume giúp nâng cao các chỉ tiêu cơ lý và tính kháng axit của vữa xi măng hỗn hợp. Garcı và các cộng sự [9] báo cáo rằng vữa xi măng Pozzolan tự nhiên có sức kháng cao đối với sự xâm nhập của Sulfuric axit, Hydrochloric axit, Sulfate và Chloride ion.

Trong khi đó kết cấu bê tông cốt thép đang ngày càng phải đối mặt với những môi trường bất lợi như môi trường nước mặn, nước lợ hay nước nhiễm axit (Acid Sulfate Soils) do biến đổi khí hậu và hiện tượng nước biển dâng cao ngày càng xâm lấn vào đất liền. Sự xâm nhập ion như Chloride ion (Cl^-) được coi là một trong các ion phá hoại nguy hiểm nhất đối với bê tông cốt thép.

Do đó, ảnh hưởng của Pozzolan tự nhiên và bột đá vôi tới sự phát triển cường độ và sức kháng ion Chloride xâm nhập của bê tông đã được nghiên cứu trong bài báo này.

1. Giới thiệu

Hiện nay, ngành công nghiệp bê tông đang đối mặt với những yêu cầu giảm giá thành vật liệu, tận dụng vật

2. Thí nghiệm

2.1. Vật liệu

Trong nghiên cứu này, bê tông xi măng sử dụng bột đá vôi - Limestone powder (L) và Pozzolan tự nhiên - Natural Pozzolan (NP) thay thế một phần cốt liệu hạt mịn. Xi măng PC 40 (C) với tỷ trọng $3,16\text{g/cm}^3$ và độ mịn $3290\text{cm}^2/\text{g}$. Thành phần hóa học của hỗn hợp xi măng, bột đá vôi, Pozzolan tự nhiên được thể hiện trong Bảng 1. Cốt liệu đá nghiền Quartz Porphyry được sử dụng làm cốt liệu hạt mịn và hạt thô thông thường. Tỷ trọng của bột đá vôi là $2,71\text{g/cm}^3$. Tỷ trọng của cốt liệu hạt mịn và cốt liệu hạt thô và Pozzolan tự nhiên ở trạng thái bão hòa nước khô bề mặt của cốt liệu mịn, cốt liệu thô và pozzolan tự nhiên lần lượt là $2,61\text{g/cm}^3$, $2,61\text{g/cm}^3$ và $2,11\text{g/cm}^3$. Hàm lượng nước hấp thụ của cốt liệu mịn, cốt liệu thô và Pozzolan tự nhiên lần lượt là 1,04%, 0,6% and 9,27%. Độ hoạt tính của Pozzolan tự nhiên được xác định bằng chỉ số API (Assessed Pozzolanic-activity Index) với giá trị là 14,4% xác định bằng phương pháp API [10].

Bảng 1. Thành phần hóa học của xi măng, bột đá vôi và Pozzolan tự nhiên

| Thành phần % | Xi măng (C) | Bột đá vôi (L) | Pozzolan tự nhiên (NP) |
|--------------------------------|-------------|----------------|------------------------|
| SiO ₂ | 20,29 | 0,189 | 73,61 |
| Al ₂ O ₃ | 4,91 | - | 14,69 |
| Fe ₂ O ₃ | 2,96 | 0,057 | 2,63 |
| CaO | 65,05 | 55,75 | 2,02 |
| MgO | 1,20 | - | 0,28 |
| SO ₃ | 1,93 | 0,20 | 0,066 |
| K ₂ O | 0,39 | - | 3,88 |
| Na ₂ O | 0,26 | - | 2,27 |
| Cl ⁻ | 0,006 | - | 0,061 |
| LOI | 2,44 | 43,91 | 2,39 |

2.2. Hỗn hợp cấp phối bê tông

Hỗn hợp cấp phối bê tông và các đặc tính của bê tông tươi được thể hiện trong Bảng 2 và 3. Các cấp phối bê tông được thiết kế với hàm lượng xi măng là 425kg/m^3 , hàm lượng cốt liệu thô là 1005kg/m^3 và tỷ lệ nước trên xi măng là 0,40. Tỷ lệ thay thế của cốt liệu mịn bằng bột đá vôi và Pozzolan tự nhiên lần lượt là 5% và 55%. Các hỗn hợp bê tông xi măng được ký hiệu là (L5), (NP55) and (L5NP55) lần lượt là bê tông sử dụng bột đá vôi, bê tông sử dụng Pozzolan tự nhiên và bê tông sử dụng cả bột đá vôi và Pozzolan tự nhiên. Bê tông tham chiếu - Reference concrete (Ref) là bê

tông với hàm lượng thay thế của cốt liệu mịn bằng bột đá vôi và Pozzolan tự nhiên là 0%.

Bảng 2. Hỗn hợp cấp phối bê tông

| Tên hỗn hợp | Khối lượng đơn vị (kg/m ³) | | | | | Cấp phối hạt thô |
|-------------|--|-----|------------------|-----|-----|------------------|
| | C | W | Cấp phối hạt mịn | | | |
| | | | L | NP | Cát | |
| Ref | 425 | 170 | 0 | 0 | 758 | 1005 |
| L5 | 425 | 170 | 39 | 0 | 720 | 1005 |
| NP55 | 425 | 170 | 0 | 337 | 341 | 1005 |
| L5NP55 | 425 | 170 | 39 | 337 | 303 | 1005 |

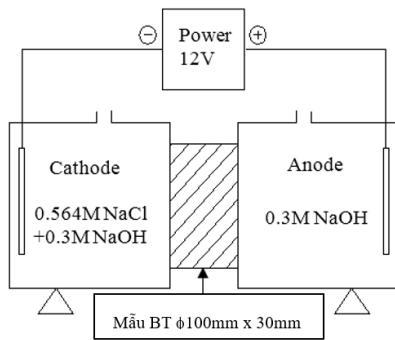
Bảng 3. Tính chất của bê tông tươi

| Tên hỗn hợp | Độ sụt (cm) | | Hàm lượng khí (%) | |
|-------------|------------------|--------------------|-------------------|--------------------|
| | Giá trị thiết kế | Giá trị đo thực tế | Giá trị thiết kế | Giá trị đo thực tế |
| Ref | 10,0±2,0 | 9,5 | 2,0±0,5 | 1,8 |
| L5 | 10,0±2,0 | 9,5 | 2,0±0,5 | 1,8 |
| NP55 | 10,0±2,0 | 9,5 | 2,0±0,5 | 2,0 |
| L5NP55 | 10,0±2,0 | 9,5 | 2,0±0,5 | 1,5 |

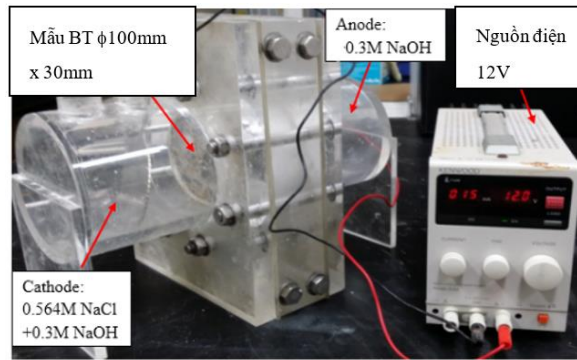
2.3. Thí nghiệm và phương pháp tiến hành

(1) Xác định hàm lượng Portlandite

Hàm lượng Portlandite Ca(OH)₂ được xác định bằng phương pháp phân tích thay đổi khối lượng theo các nhiệt độ nung khác nhau (TG-DTA) và kết hợp với thí nghiệm hóa học. Mẫu thí nghiệm được lấy từ lõi của bê tông sau thí nghiệm nén và loại bỏ tối đa cốt liệu hạt lớn để quá trình nghiền mẫu sang dạng bột có hàm lượng vữa xi măng cao trong khi tỷ lệ cốt liệu lẫn trong mẫu có hàm lượng càng thấp càng tốt. Tỷ lệ cốt liệu mịn và xi măng được xác định bằng thí nghiệm hóa học do Kansai và các cộng sự [11] đã công bố như sau. Lấy xấp xỉ 0,5g bột hỗn hợp vào cốc thí nghiệm sau đó rót vào 200mL dung dịch Sodium Gluconate nồng độ 15%. Dung dịch Sodium Gluconate không tham gia phản ứng với CaCO₃ chỉ hòa tan xi măng. Sau đó dung dịch được khuấy đều trong 30 phút bằng máy khuấy từ tính. Sau đó toàn bộ hỗn hợp còn lại được lọc bằng giấy lọc và sấy ở nhiệt độ 105^oC trong vòng 12 giờ để làm bay hơi hết nước tự do sau đó được làm mát trong buồng hút chân không trong 30 phút. Sau đó khối lượng phần còn lại được cân xác định khối lượng của cấp phối. Thành phần xi măng trong mẫu được tính trực tiếp dựa trên tính toán sự thay đổi



Hình 1. Sơ đồ thí nghiệm đo thấm nhập ion Chloride



Hình 2. Thiết bị dùng cho thí nghiệm đo thấm nhập ion Chloride

khối lượng trước và sau thí nghiệm hóa học ở trên. Hàm lượng Portlandite Ca(OH)_2 được xác định dựa trên tính toán kết hợp kết quả thí nghiệm hóa học và thí nghiệm TG-DTA theo công thức sau:

$$CH = \frac{CH_1}{c} \times 100 \quad (1)$$

Trong đó:

CH : Hàm lượng % của Ca(OH)_2 trong bột hồ xi măng (khối lượng%);

CH_1 : Lượng Ca(OH)_2 trong kết quả tính của phương pháp TG-DTA;

c : Lượng xi măng trong mẫu xác định trên kết quả thí nghiệm hóa học [11]:

$$C(\%) = \frac{m_s - m_r}{m_s} \times 100 \quad (2)$$

Trong đó:

m_s : Khối lượng của bột bê tông nghiền mẫu;

m_r : Khối lượng còn lại sau khi sấy khô ở nhiệt độ 105°C .

(2) Thí nghiệm nén

3 mẫu lăng trụ tròn của từng hỗn hợp cấp phối được tiến hành nén mẫu ở các tuổi 3 và 28 sau khi đúc.

(3) Thí nghiệm xác định hệ số thấm nhập của chloride ion trong mẫu bê tông

Thí nghiệm xâm nhập trạng thái tĩnh - The Steady - State migration test [12, 13] được sử dụng để tính toán hệ số thấm nhập của ion Chloride trong mẫu bê tông.

Trong thí nghiệm này mẫu bê tông lăng trụ có đường kính 100mm chiều cao 30mm được cắt ra từ đoạn giữa của mẫu đúc bê tông lăng trụ có cùng đường kính 100mm và chiều cao 200mm được bảo dưỡng ở điều kiện tiêu chuẩn 91 ngày tuổi. Theo như công bố của Kaid và các cộng sự [5], các chỉ số về độ bền của bê tông xi măng chứa Pozzolan tự nhiên nên được kiểm tra ở độ tuổi từ 60 đến 132 ngày tuổi bởi hoạt

tính Pozzolanic sẽ phát huy hiệu quả bắt đầu ở độ tuổi này. Các mẫu thử được phủ đường chu vi mẫu xung quanh bằng lớp Epoxy chống thấm và được bố trí sơ đồ thí nghiệm như ở Hình 1. Hệ số thấm nhập của các cấp phối bê tông được tính toán dựa trên kết quả thí nghiệm của 3 mẫu. Điện thế 12V được đưa vào 2 buồng Anode và Cathode. Nồng độ ion Chloride được đo bằng thiết bị đo nồng độ ion ghi sắc Dionex ICS-1000. Thông lượng của ion Chloride ở trạng thái tĩnh được tính theo công thức:

$$J_{Cl} = \frac{V \Delta C_{Cl}}{A \Delta t} \quad (3)$$

Trong đó:

J_{Cl} : Thông lượng của ion Chloride ở trạng thái tĩnh ($\text{mol/m}^2\text{s}$);

V : Thể tích khoang chứa Anode (m^3);

A : Diện tích mặt cắt ngang mẫu (m^2)

$\Delta C_{Cl}/\Delta t$: Độ biến thiên nồng độ Chloride ở cực Anode ($\text{mol/m}^3\text{s}$).

Hệ số thấm nhập ion Chloride được tính toán theo công thức:

$$D_e = \frac{J_{Cl} R T L}{|Z| F C_{Cl}} \quad (4)$$

Trong đó:

D_e : Hệ số thấm nhập ion (m^2s);

R : Hằng số khí ($8,3144\text{J/mol K}$);

T : Nhiệt độ tuyệt đối của dung dịch ở anode (K);

Z : Điện tích của ion Chloride ion (-1);

F : Hằng số Faraday ($96,480\text{J/V mol}$);

C_{Cl} : Nồng độ trung bình tại khoang Cathode (mol/m^3);

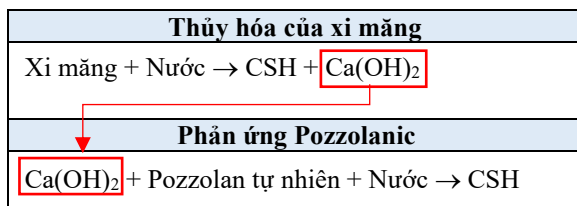
E : Hiệu điện thế thực tế trên bề mặt mẫu (V);

L : Chiều cao mẫu (m).

3. Kết quả và thảo luận

3.1. Hàm lượng Portlandite (Ca(OH)₂)

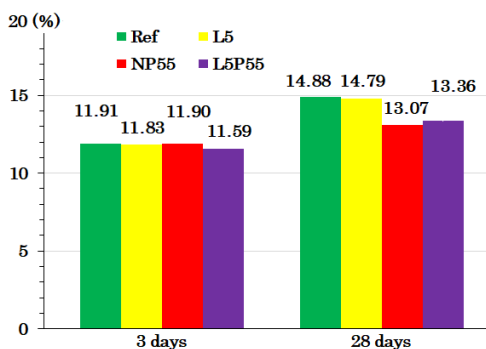
Hình 3 thể hiện hàm lượng Ca(OH)₂ của mẫu vữa xi măng lấy trong bê tông ở 3 và 28 ngày tuổi. Kết quả thí nghiệm cho thấy ở 3 ngày tuổi, hàm lượng Ca(OH)₂ có trong mẫu bê tông chứa Pozzolan tự nhiên (L5NP55) and (NP55) xấp xỉ bằng với hàm lượng Ca(OH)₂ có trong mẫu bê tông chứa bột đá vôi và bê tông tham chiếu (Ref). Tuy nhiên ở 28 ngày tuổi, hàm lượng Ca(OH)₂ của mẫu (L5NP55) và (NP55) thấp hơn đáng kể so với hàm lượng trong mẫu (Ref) và (L5). Sự giảm hàm lượng Ca(OH)₂ có trong bê tông chứa Pozzolan tự nhiên sau 28 ngày là do Ca(OH)₂ bị tiêu thụ trong các phản ứng Pozzolanic. Như đã biết Ca(OH)₂ là sản phẩm của quá trình thủy hóa của xi măng [14]; Cũng chính nhờ phản ứng Pozzolanic góp phần tạo ra thêm CSH là thành phần làm tăng độ đặc chắc của kết cấu bê tông xi măng. Phản ứng thủy hóa của xi măng và phản ứng Pozzolanic được thể hiện theo cơ chế như sau:



Ngược lại, kết quả thí nghiệm cho thấy hầu như không có sự khác biệt giữa L5 và Ref ở các độ tuổi của bê tông cho thấy ảnh hưởng của bột đá vôi đến quá trình thủy hóa của của xi măng là không đáng kể.

3.2. Cường độ nén của bê tông

Cường độ nén của bê tông ở các ngày tuổi khác nhau được thể hiện trên Hình 4. Có thể thấy rằng ở 3 ngày tuổi, cường độ nén của bê tông chứa Pozzolan tự nhiên bao gồm (NP55) và (L5NP55) gần như tương đương với cường độ của bê tông (Ref) và (L5). Như

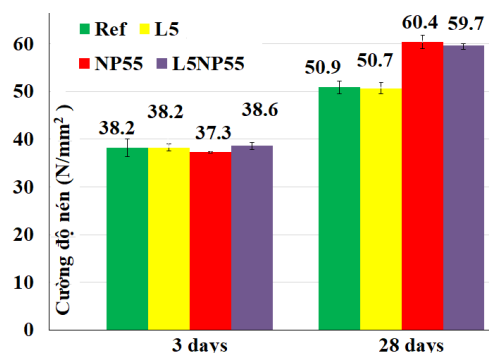


Hình 3. Hàm lượng % Portlandite (Ca(OH)₂) (g/100g xi măng đã thủy hóa trong hỗn hợp bê tông)

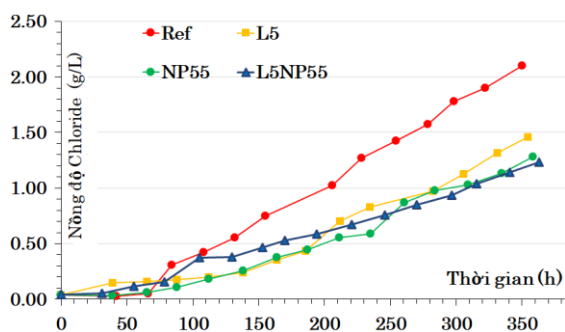
vậy việc thay thế cốt liệu hạt mịn bằng Pozzolan tự nhiên trong bê tông không ảnh hưởng đến cường độ của bê tông ở tuổi sớm (dưới 3 ngày tuổi). Tuy nhiên, ở tuổi muộn hơn 28 ngày tuổi cường độ nén của bê tông (NP55) and (L5NP55) cao hơn đáng kể (tăng khoảng 20%) so với cường độ của bê tông (Ref) và (L5). Liên hệ với kết quả thí nghiệm xác định hàm lượng Portlandite Ca(OH)₂, có thể thấy rằng phản ứng Pozzolanic giữa Pozzolan tự nhiên và Ca(OH)₂ đã tạo ra thêm các sản phẩm CSH dẫn đến sự đặc chắc hơn trong kết cấu xi măng bê tông làm tăng cường độ của bê tông có chứa Pozzolan tự nhiên sau 28 ngày tuổi. Cường độ nén của bê tông (NP55) và (L5NP55) là tương đối bằng nhau với cùng tuổi bê tông. Hơn nữa cường độ nén của bê tông (L5) chứa bột đá vôi thay thế một phần cốt liệu hạt mịn gần như bằng với cường độ nén của bê tông tham chiếu (Ref) sau 3 và 28 ngày tuổi. Các kết quả này cho thấy ảnh hưởng của bột đá vôi đối với quá trình phát triển cường độ nén của bê tông là không đáng kể. Điều này trái ngược với việc sử dụng Pozzolan tự nhiên thay thế một phần cốt liệu mịn đã góp phần tăng cường độ của bê tông xi măng.

3.3. Hệ số thấm nhập ion Chloride - Chloride diffusion coefficient

Hình 5 và 6 biểu diễn tổng nồng độ Chloride tích lũy phía cực Anode theo thời gian và hệ số thấm nhập ion Chloride của các loại cấp phối bê tông. Kết quả thí nghiệm cho thấy rằng mức độ thấm nhập ion Chloride thấp nhất ở các bê tông chứa Pozzolan tự nhiên (NP55) và (L5NP55) tiếp đến là bê tông chứa bột đá vôi (L5). Bê tông tham chiếu (Ref) có mức độ thấm nhập ion Chloride cao nhất. Rõ ràng việc sử dụng Pozzolan tự nhiên đã góp phần nâng cao khả năng chống thấm thấu của ion Chloride trong bê tông do nguyên nhân các sản phẩm CSH được tạo thêm sau phản ứng Pozzolanic hình thành thêm các vật liên kết dính, làm vi cấu trúc của bê tông xi măng thêm đặc



Hình 4. Cường độ nén bê tông sau 3 và 28 ngày tuổi



Hình 5. Nồng độ ion Chloride tích lũy tại cực Anode

chắc và giảm các mao mạch liên thông trong kết cấu bê tông góp phần tăng tính chống thấm của bê tông [15]. Bên cạnh đó, việc sử dụng bột đá vôi thay thế một phần cốt liệu hạt mịn cũng góp phần làm giảm tính thấm của bê tông nhờ hiệu ứng lấp đầy lỗ rỗng giữa cốt liệu và hạt xi măng làm cho kết cấu xi măng trở nên đặc chắc hơn làm giảm khả năng thấm nhập của các ion trong bê tông.

4. Kết luận

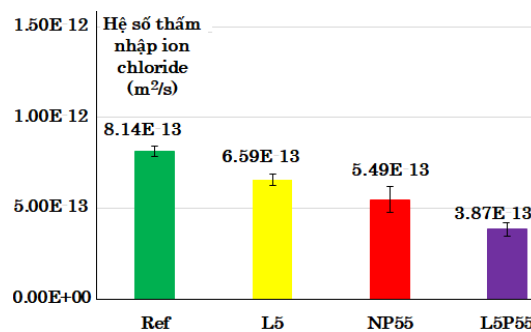
Nghiên cứu đã phân tích và đánh giá vai trò của Pozzolan tự nhiên và bột đá vôi với vai trò thay thế một phần cốt liệu hạt mịn trong bê tông xi măng. Từ các kết quả của nghiên cứu có thể thấy rằng: Việc sử dụng Pozzolan tự nhiên góp phần tăng cường độ bê tông sau 28 ngày tuổi đồng thời cải thiện tính chống thấm ion Chloride của bê tông. Trong khi đó ảnh hưởng của bột đá vôi đến quá trình phát triển cường độ của bê tông là không đáng kể nhưng lại góp phần cải thiện khả năng chống thấm ion Chloride của bê tông xi măng.

Lời cảm ơn

Nghiên cứu này được tài trợ bởi Trường Đại học Hàng hải Việt Nam trong đề tài mã số: DT22-23.76.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] D.Wang, C.Shi, N. Farzadnia, Z.Shi, H.Jia. (2018), *A review on effects of limestone powder on the properties of concrete*, Constr. Build. Mater. Vol.192, pp.153-166.
- [2] W. Shaban, K. Elbaz, J. Yang, B. Thomas, Li. Li. (2021), *Effect of pozzolan slurries on recycled aggregate concrete: Mechanical and durability performance*, Constr. Build. Mater. Vol.276, 121940.
- [3] A. Schöler, B. Lothenbach, F. Winnefeld, M. Zajac. (2015), *Hydration of quaternary Portland cement blends containing blast-*



Hình 6. Hệ số thấm nhập ion Chloride của bê tông

furnace slag, siliceous fly ash and limestone powder, Cem. Concr. Compos. Vol.55, pp.374-382.

- [4] K. Celik, C. Meral, M. Mancio, P.K. Mehta, P.J. Monteiro. (2014), *A comparative study of self-consolidating concretes incorporating high-volume natural pozzolan or high-volume fly ash*, Constr. Build. Mater. Vol. 67, pp.14-19.
- [5] N. Kaid, M. Cyr, S. Julien, H. Khelafi. (2009), *Durability of concrete containing a natural pozzolan as defined by a performance-based approach*, Constr. Build. Mater. Vol.23, pp.3457-3467.
- [6] EN 197-1. (2000), *Cement part 1: Composition, specification and conformity criteria for common cements*, European Committee for Standardization.
- [7] ASTM standard (C150-04). (2004), *Standard Specification for Portland Cement*.
- [8] Z. Makhloufi, T. Bouziani, M. Hadjoudja, M. Bederina (2014), *Durability of limestone mortars based on quaternary binders subjected to sulfuric acid using drying-immersion cycles*, Constr. Build. Mater. Vol.71, pp.579-588.
- [9] M.Garci, S.Kenai, E.Meziane (2006), *Mechanical and durability properties of cement mortar with Algerian natural pozzolana*, Joun. Mater. Scien., Vol.41 (21), pp. 6965-6972.
- [10] T. Yamamoto, T. Kanazu, M. Nambu, T. Tanosaki. (2006), *Pozzolanic reactivity of fly ash-API method and K-value*, Fuel. Vol.85, pp.2345-2351.

- [11] Y. Kasai, K.Matsui. (1996), *Study on determination of cement content test method with sodium gluconate Review of the 40th general meeting*, Technical session, pp.214-217.
- [12] O. Truc, J.P. Ollivier, M. Carcassès. (2000), *A new way for determining the chloride diffusion coefficient in concrete from steady state migration test*, Cem. and Conc Research. Vol.30, pp.217-226.
- [13] Japan Society of Civil Engineers Tokyo. (2003) JSCE-G571, *Test method for effective diffusion coefficient of chloride ion in concrete by migration*.
- [14] A.M. Neville. (1996), *Properties of Concrete. (5th edition)*, Addison Wesley, Longman, England.
- [15] HA. Dahish, M. Bakri, MS. Alfawzan. (2021), *Predicting the strength of cement mortars containing natural pozzolan and silica fume using multivariate regression analysis*, Geomate Journal, Vol.20, pp.2186-2290.

| | |
|--------------------|------------|
| Ngày nhận bài: | 19/12/2022 |
| Ngày nhận bản sửa: | 26/12/2022 |
| Ngày duyệt đăng: | 03/01/2023 |

KINH TẾ - XÃ HỘI

ỨNG DỤNG BI HỖ TRỢ QUẢN LÝ VẬN HÀNH HỆ THỐNG ĐÈN BIỂN
THEO THÔNG TƯ SỐ 38/2021/TT-BGTVTAPPLICATION OF BI IN MANAGING THE LIGHTHOUSE SYSTEM'S OPERATION
AS PRESCRIBED IN CIRCULAR NO. 38/2021/TT-BGTVT

TRẦN ĐỨC PHÚ

Khoa Công trình, Trường Đại học Hàng hải Việt Nam

Email liên hệ: phutd.ctt@vimaru.edu.vn

Tóm tắt

Công tác quản lý vận hành hệ thống đèn biển hiện nay được thực hiện tuân theo các quy định tại Thông tư số 38/2021/TT-BGTVT về việc ban hành Định mức kinh tế - kỹ thuật trong lĩnh vực cung ứng dịch vụ sự nghiệp công bảo đảm an toàn hàng hải đã được Bộ trưởng Bộ Giao thông vận tải ban hành ngày 30/12/2021. Tuy nhiên, các nghiệp vụ quản lý, vận hành, lập dự toán hoặc thanh, quyết toán thường chủ yếu dừng lại ở các quy trình đơn lẻ bằng các công cụ rời. Chính vì vậy, các nghiệp vụ quản lý tổng thể hoặc rà soát, kiểm tra theo từng yêu cầu cụ thể sẽ gặp nhiều khó khăn, khả năng trực quan hóa dữ liệu bị hạn chế. Bài báo này đề xuất một ứng dụng của kinh doanh thông minh (BI) vào hỗ trợ quản lý và vận hành hệ thống đèn biển để nâng cao hiệu quả công tác quản lý, vận hành hệ thống đèn biển thống nhất, mang tính trực quan và có tính liên thông kết nối giữa các công đoạn với nhau.

Từ khóa: Đèn biển, bảo đảm an toàn hàng hải, kinh doanh thông minh, quản lý, vận hành.

Abstract

The current management of the lighthouse system's operation is carried out following the provisions of the economic-technical norms for the operation of the independent lighthouse system in Circular No. 38/2021/TT-BGTVT promulgated by the Minister of Transport on December 30th, 2021. However, management, operation, estimating, or payment and settlement functions often stop at single processes with separate tools. Therefore, the overall management operations or reviewing and checking each light or group of lights according to specific requirements will face many difficulties, and the ability to visualize data is limited. This article

proposes a Business intelligence (BI) model for supporting the management of the lighthouse system's operation to improve the efficiency of the management and operation of the lighthouse system in a unified and effective way, with intuitive interconnectivity between the stages.

Keywords: Lighthouse, maritime safety, business intelligence, management, operation.

1. Giới thiệu chung

Đèn biển, hay còn gọi là Hải đăng, là báo hiệu hàng hải cố định thiết lập trong vùng nước cảng biển, vùng biển Việt Nam hoặc tại các vị trí cần thiết ven bờ biển. Công tác quản lý vận hành hệ thống đèn biển hiện nay được thực hiện tuân theo các quy định tại [1]. Một đèn biển vận hành thường bao gồm nhiều thành tố như nguồn năng lượng, trang thiết bị báo hiệu, hệ thống công trình, dụng cụ và phương tiện phục vụ công tác. Dẫn đến, các nghiệp vụ quản lý, vận hành, lập dự toán hoặc thanh, quyết toán thường chủ yếu dừng lại ở các quy trình đơn lẻ bằng các công cụ rời rạc, ví dụ như việc lập dữ liệu thanh, quyết toán được thực hiện bằng các bảng tính MS Excel, còn dữ liệu địa lý của đèn biển được lưu trữ trên Google Earth. Nhìn chung, nếu công tác quản lý chỉ đơn giản dựa trên các sổ sách, bảng biểu được thực hiện bởi một cá nhân đơn lẻ thì họ sẽ cơ bản có thể tính toán các số liệu và thể hiện theo cách của riêng họ. Tuy nhiên, xét trên góc độ quản lý, việc thực hiện tính toán này tồn tại rủi ro lớn do những sai sót xuất phát từ chính người thao tác file tính toán tạo ra. Đồng thời, mỗi đèn biển lại bao gồm các trang thiết bị khác nhau nên ngay cả những đèn biển cùng cấp cũng có chi phí quản lý khác nhau. Vì vậy, để kiểm tra các khối lượng tính toán đòi hỏi người kiểm tra phải lập một bảng tính khác, tra lại các định mức hoặc thực hiện rà soát lại từng công thức tính trong bảng tính đó. Chính vì vậy, việc quản lý tổng thể hoặc rà soát, kiểm tra theo từng đèn biển hoặc nhóm đèn biển theo từng yêu cầu cụ thể sẽ gặp nhiều khó khăn, khả năng trực quan hóa dữ liệu bị hạn chế.

Các ứng dụng kinh doanh thông minh (Business Intelligence, gọi tắt là BI) là giải pháp hỗ trợ phân tích dữ liệu giúp người sử dụng hiển thị thông tin một cách trực quan (visualization) và chia sẻ thông tin chi tiết (insights) trong cơ quan hoặc nhúng các dạng báo cáo (dashboard) lên website hoặc vào trong các ứng dụng. Từ đó hỗ trợ doanh nghiệp đưa ra các quyết sách quản lý, kinh doanh nhanh chóng và hiệu quả.

Quản lý, vận hành (QLVH) đèn biển là lĩnh vực nghề nghiệp đặc thù thuộc dịch vụ sự nghiệp công bảo đảm an toàn hàng hải. Công tác này hiện nay được thực hiện bởi hai Tổng công ty Bảo đảm an toàn hàng hải miền Bắc và Tổng công ty Bảo đảm an toàn hàng hải miền Nam. Chính vì đặc thù nghề nghiệp chuyên sâu, nên các nghiên cứu về quản lý, vận hành đèn biển còn rất hạn chế, đặc biệt ở Việt Nam. Bên cạnh đó, các nghiệp vụ này phải tuân thủ theo các quy định hiện hành của hệ thống pháp luật Việt Nam nên nhiều quy định cũng có sự điều chỉnh theo thời gian để phù hợp với tình hình thực tế. Cụ thể, tại Tổng công ty Bảo đảm an toàn hàng hải miền Bắc, việc thực hiện QLVH đèn biển được thực hiện từ các đơn vị thành viên, bao gồm có vận hành, bảo trì hệ thống đèn biển và thực hiện lập dự toán và quyết toán để trình lên Tổng công ty phê duyệt. Do việc thực hiện này chưa mang tính đồng bộ, thiếu tính kết nối nên cách tính toán các tham số cũng khác nhau giữa các đơn vị. Bên cạnh đó, công tác kiểm tra, giám sát độ chính xác của số liệu trong các file Microsoft Excel của mỗi đơn vị thành viên cũng gặp nhiều khó khăn do các công thức tính toán và các hàm số sử dụng phức tạp hoặc đã bị lược bỏ một số bước mà không có giải thích cụ thể. Ngoài ra, việc kiểm tra các số liệu liên quan đến kỹ thuật như quãng đường di chuyển đến vị trí trạm đèn cũng không đồng bộ do Excel không hỗ trợ quản lý thông tin địa lý tốt.

Trên cơ sở tham chiếu các căn cứ pháp lý hiện hành và cập nhật kỹ thuật, công nghệ hiện đại, bài báo này đề xuất ứng dụng BI vào hỗ trợ quản lý công tác vận hành hệ thống đèn biển giúp nâng cao tính thống nhất, khả năng liên thông kết nối giữa các công đoạn và vẫn đảm bảo sự phù hợp với các quy định hiện hành.

2. Cơ sở nghiên cứu

2.1. Quản lý, vận hành hệ thống đèn biển theo Thông tư số 38/2021/TT-BGTVT

Các hoạt động lập dự toán, thanh quyết toán, đặt hàng, xây dựng và phê duyệt giá sản phẩm, dịch vụ sự nghiệp công bảo đảm an toàn hàng hải phục vụ vận hành hệ thống đèn biển áp dụng theo các quy định tại [1]. Một đèn biển thông thường bao gồm các trang

thiết bị như: Thiết bị báo hiệu hàng hải, hệ thống cung cấp năng lượng, công trình trạm đèn, dụng cụ, công cụ và phương tiện phục vụ. Công tác QLVH đèn biển thường bao gồm:

- Vận hành hoạt động và bảo trì các thiết bị báo hiệu hàng hải và nguồn năng lượng;
- Bảo trì hệ thống thông tin liên lạc, hệ thống chống sét;
- Tính toán xác định thời gian, phụ tải sử dụng máy phát điện, điện lưới cho thiết bị báo hiệu, phục vụ điều kiện làm việc, sinh hoạt tại trạm đèn biển;
- Tổ chức trực tại trạm đèn;
- Vận hành, bảo trì đối với các đèn biển không có người thường trực;
- Tính toán hao phí vật tư, dụng cụ, công cụ phục vụ quản lý, vận hành trạm đèn biển;
- Tính toán thời gian sử dụng các trang thiết bị, phụ tùng báo hiệu hàng hải.

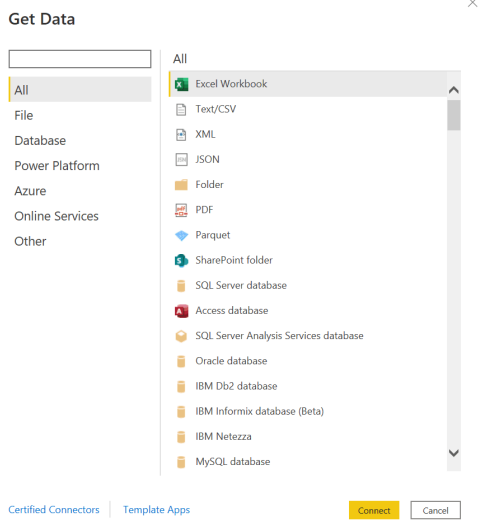
Đèn biển được phân loại ra ba cấp đèn, bao gồm đèn biển cấp I có chức năng báo hiệu cập bờ, cấp II phục vụ hàng hải ven bờ, và cấp III có mục đích báo hiệu cửa sông, cửa biển [2]. Dựa trên cấp đèn, công tác quản lý, vận hành hệ thống đèn biển có những quy định khác nhau. Cụ thể, công tác vận hành thiết bị báo hiệu hàng hải và thiết bị phục vụ cung cấp năng lượng được thực hiện giống nhau cho tất cả các cấp đèn, nhưng hoạt động bảo trì trang thiết bị báo hiệu hàng hải được thực hiện hàng ngày cho các đèn cấp I, đèn cấp II, và hàng tuần đối với đèn cấp III. Bên cạnh đó, mỗi đèn biển có các trang thiết bị và sử dụng nguồn năng lượng khác nhau nên công tác khai thác, vận hành, tính toán lập dự toán, thanh quyết toán cũng khác nhau giữa các đèn biển cùng cấp.

2.2. Mô hình quản lý dựa trên ứng dụng BI

Ứng dụng BI cung cấp các công cụ hỗ trợ quản lý và phân tích dữ liệu cho các hoạt động kinh doanh. Dữ liệu được biểu diễn một cách trực quan, cho phép giám sát các hoạt động hậu cần, năng suất kinh doanh và đánh giá công việc. Bên cạnh đó, nhiều nền tảng BI có khả năng xây dựng các báo cáo có thể tùy chỉnh, giúp người sử dụng có thể lựa chọn các tham số, hiển thị dữ liệu theo các khu vực địa lý trên nền tảng bản đồ số hoặc theo các mẫu báo cáo có sẵn. Phần mềm BI có khả năng trình bày dữ liệu bằng các hình ảnh trực quan và định dạng dễ hiểu. Vì thế, người sử dụng hệ thống BI có thể dễ dàng thực hiện các thao tác thu thập thông tin chi tiết từ cơ sở dữ liệu [3].

So với phần mềm Microsoft Excel, phần mềm

được sử dụng phổ biến trong các tác vụ tính toán tổng hợp thông thường tại các doanh nghiệp, ứng dụng BI cho phép thu thập và cập nhật liên tục dữ liệu từ đa dạng các nguồn khác nhau như file tài liệu, website,... (xem Hình 1). Khi xử lý dữ liệu lớn, ứng dụng BI hỗ trợ việc dọn dẹp, kết nối các nguồn dữ liệu và cho phép tính toán phức tạp [4]. Cụ thể, nhóm tác giả đã thử nghiệm so sánh khả năng thực hiện xử lý dữ liệu giữa một số ứng dụng thì kết quả như sau: Google Sheet cho phép thực hiện ổn định khoảng tối đa 50.000 records (dòng) mà không xảy ra hiện tượng bị trễ hoặc lag khi xử lý, Excel có đạt được khoảng 100-200.000 records, Power BI (một ứng dụng BI) có thể xử lý mượt mà tới 8.000.000 records.



Hình 1. Các dạng dữ liệu có thể xử lý bằng Power BI

Chính vì những ưu điểm đó, ứng dụng BI là một giải pháp hiệu quả giúp phân tích và trình bày kết quả công tác QLVH đèn biển.

3. Ứng dụng BI quản lý vận hành hệ thống đèn biển theo Thông tư số 38/2021/TT-BGTVT

3.1. Xây dựng cơ sở dữ liệu (CSDL)

Dữ liệu sử dụng trong nghiên cứu này được tổng hợp từ các thông tin được công bố trên website của Tổng công ty Bảo đảm an toàn hàng hải miền Bắc (BDATHHMB) [4], bao gồm số lượng trang thiết bị và thông số kỹ thuật của hệ thống đèn biển, các kế hoạch sản xuất kinh doanh,... Nhóm tác giả thực hiện tính toán, xây dựng CSDL cho mô hình BI tuân thủ theo các quy định của Thông tư số 38/2021/TT-BGTVT trên phần mềm Microsoft Excel.

Dữ liệu sau đó được định dạng lại để đảm bảo tính thống nhất và thuận tiện cho việc liên kết và xử lý dữ liệu trong mô hình BI. Bên cạnh đó, mô hình BI cũng có thể thu thập dữ liệu trực tuyến từ các nguồn online

và tự động cập nhật lại dữ liệu mỗi khi thông tin từ website nguồn có sự điều chỉnh. Ví dụ, khi thông số kỹ thuật của đèn biển trong mô hình QLVH đèn biển có sự thay đổi trên website của BDATHHMB, mô hình sẽ tự động cập nhật lại dữ liệu này.

ĐM bảo trì hệ thống năng lượng mặt trời

| TT | Thành phần hao phí | Đơn vị | Đen cấp I | | Đen cấp II | | Đen cấp III | |
|----|---------------------|--------|-----------|------------|------------|------------|-------------|------------|
| | | | Hàng ngày | Hàng tháng | Hàng ngày | Hàng tháng | Hàng ngày | Hàng tháng |
| 1 | Nước rửa kính | lít | 0.05 | | 0.05 | | 0.05 | |
| 2 | Vải phin trắng 0.6m | m | 0.50 | | 0.40 | | 0.30 | |
| 3 | Giẻ lau | kg | 0.50 | 1.0 | 0.40 | 0.8 | 0.30 | 0.6 |
| 4 | Mỡ bảo quản | kg | | 0.3 | | 0.2 | | 0.1 |
| 5 | Thuốc hàn | cuộn | | 0.5 | | 0.4 | | 0.3 |
| 6 | Côn công nghiệp | lít | | 1.0 | | 0.8 | | 0.6 |
| 7 | Bảng dính cách điện | cuộn | | 3.0 | | 2.0 | | 1.0 |
| 8 | Dung dịch cách điện | lít | | 5.0 | | 4.0 | | 3.0 |
| 9 | Đầu bọc ắc quy | cái | | 2.0 | | 2.0 | | 1.0 |
| 10 | Vật tư khác | % | 3.0 | 3.0 | 3.0 | 3.0 | 3.0 | 3.0 |
| 11 | Hào phí nhân công | công | 2.2 | 3.0 | 2.0 | 4.5 | 1.8 | 4.0 |

ĐM bảo trì thiết bị bảo hiệu

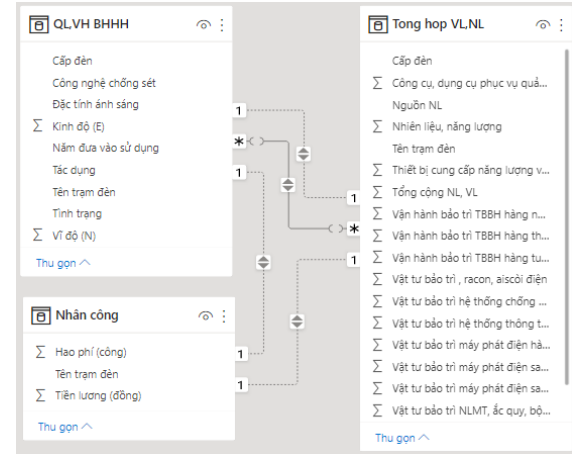
| TT | Thành phần hao phí | Đơn vị | Đen cấp I | | Đen cấp II | | Đen cấp III | |
|----|----------------------|----------------|-----------|------------|------------|------------|-------------|------------|
| | | | Hàng ngày | Hàng tháng | Hàng ngày | Hàng tháng | Hàng ngày | Hàng tháng |
| 1 | Nước rửa kính | lít | 0.15 | | 0.15 | | 0.10 | |
| 2 | Vải phin trắng 0.6m | m | 0.10 | 0.10 | 0.08 | 0.08 | 0.06 | 0.06 |
| 3 | Dạ mềm lau thấu kính | m ² | 0.04 | 0.04 | 0.03 | 0.03 | 0.02 | 0.02 |

(a) CSDL định mức theo TT38/2021/TT-BGTVT

| Hạng mục công việc thực hiện trong năm | Hào phí nhân công | | | | Đen Vĩnh Thục | |
|--|-------------------|---------|-----------|----------|---------------|-------------|
| | Định mức | | Thực hiện | | Đơn giá NC | Thành tiền |
| | công/lần | Bậc thợ | lần/năm | công/năm | | |
| Vận hành thiết bị bảo hiệu hàng hải hàng ngày | | | | | | |
| Vận hành thiết bị đèn báo hiệu | 1.5 | 4.0 | 365 | 548 | 870,306 | 476,492,766 |
| Vận hành Eacon, AIS | 0.28 | 2.0 | 365 | 102 | - | - |
| Vận hành thiết bị còi điện | 0.14 | 2.0 | 365 | 51 | - | - |
| Vận hành thiết bị giám sát và điều khiển từ xa | 0.3 | 2.5 | 365 | 110 | - | - |
| Vận hành thiết bị cung cấp nguồn năng lượng hàng ngày | | | | | | |
| Vận hành hệ thống pin năng lượng mặt trời, bộ bảo vệ nạp ắc quy và thiết bị khác | 0.5 | 2.5 | 365 | 183 | 656,704 | 119,848,447 |

(b) Tính toán chi phí vận hành theo định mức

Hình 2. Xây dựng CSDL trên MS Excel

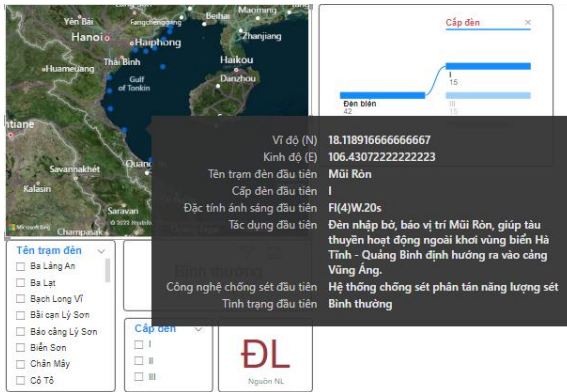


Hình 3. Liên kết CSDL QLVH đèn biển

Các trường thuộc tính của mô hình QLVH đèn biển đã được xây dựng bao gồm: các chỉ tiêu kinh tế được tổng hợp trên MS Excel và các chỉ tiêu kỹ thuật được thu thập tại website của BDATHHMB. CSDL sau đó được chuẩn hóa và liên kết với nhau nhằm tối ưu khả năng quản lý của hệ thống (Hình 3). Chính vì vậy, CSDL QLVH đèn biển đã mang tính chất linh hoạt và có thể thực hiện cập nhật tự động mỗi khi CSDL nguồn bị thay đổi.

3.2. Mô hình BI quản lý vận hành đèn biển

Để ứng dụng mô hình BI vào QLVH hệ thống đèn biển, nhóm nghiên cứu tiến hành thực hiện thí điểm trên hai ứng dụng hỗ trợ phân tích và trực quan hóa dữ liệu đang được sử dụng phổ biến nhất trong ngành BI hiện nay, bao gồm: phần mềm Tableau của hãng Salesforce và phần mềm Power BI được phát triển bởi hãng Microsoft. Trên cơ sở phân tích các yêu cầu kinh tế - kỹ thuật của công tác QLVH đèn biển và chi phí đầu tư, nhóm nghiên cứu đề xuất xây dựng một mô hình quản lý trên nền tảng ứng dụng bộ công cụ Power BI được phát triển bởi hãng Microsoft [6]. Phiên bản Power BI Desktop được cung cấp miễn phí và cài đặt trực tiếp trên các máy tính cá nhân.



Hình 4. Tra cứu thông tin chi tiết của một đèn biển

Mô hình BI QLVH đèn biển được nhóm nghiên cứu xây dựng bao gồm các chức năng chính sau:

1. Tra cứu nhanh thông tin chi tiết của một đèn biển (Hình 4). Chức năng này giúp người sử dụng nắm bắt ngay được các thông tin cơ bản của một đèn biển.

2. Kiểm tra, giám sát và cập nhật các thông số kỹ thuật và tình trạng hoạt động của đèn biển (Hình 5). Chức năng này cho phép người sử dụng giám sát và cập nhật về mặt kỹ thuật của một, hoặc một nhóm đèn biển, hoặc cả hệ thống đèn biển.

3. Quản lý, giám sát các chỉ tiêu kinh tế phục vụ vận hành đèn biển (Hình 6). Các chi phí vận hành của các đèn biển được thực hiện tính toán, tổng hợp tuân thủ theo quy định tại Thông tư 38/2021/TT-BGTVT, bao gồm: Chi phí nhiên liệu, năng lượng; Vận hành bảo trì TBBH hàng ngày, hàng tuần, hàng tháng; Vật tư bảo trì hệ thống chống sét, hệ thống thông tin liên lạc; Vật tư bảo trì racon, ais, còi điện; Vật tư bảo trì máy phát điện; Vật tư bảo trì hệ thống năng lượng, ắc quy, bộ sạc; Chi phí thiết bị cung cấp năng lượng và thiết bị đèn; Chi phí vật tư phục vụ các trạm đèn biển; Chi phí dụng cụ, công cụ,... Chức năng này cho phép người sử dụng thực hiện tra cứu các chỉ tiêu kinh tế, so sánh và đưa ra các đánh giá cần thiết.



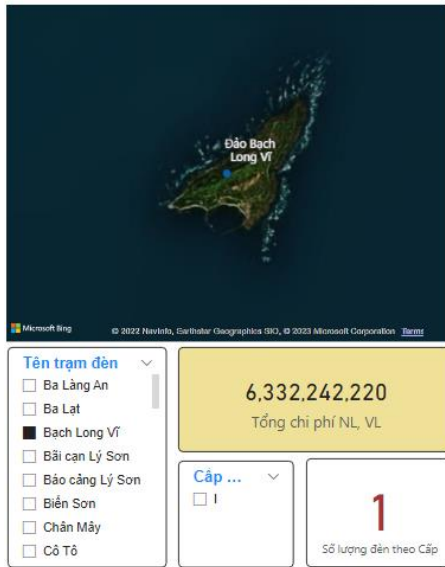
| Tình trạng sử dụng đèn biển | | |
|-----------------------------|---------|-------------|
| Tên trạm đèn | Cấp đèn | Tình trạng |
| Ba Làng An | II | Bình thường |
| Ba Lạt | II | Bình thường |
| Bạch Long Vĩ | I | Bình thường |
| Bãi cạn Lý Sơn | III | Bình thường |
| Bảo cảng Lý Sơn | III | Bình thường |
| Biển Sơn | II | Bình thường |
| Chân Mây | III | Bình thường |

(a) Thông số kỹ thuật tổng thể hệ thống đèn biển

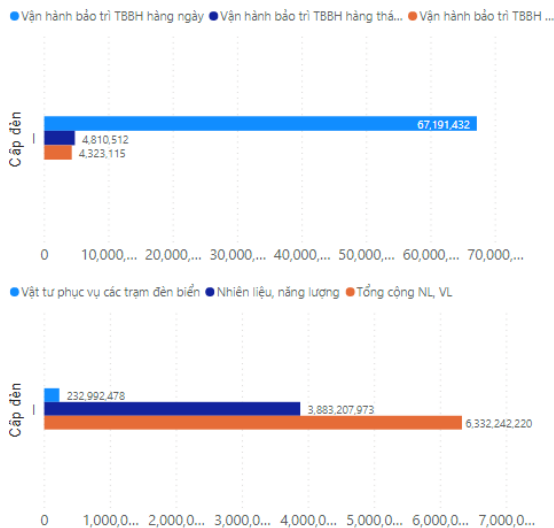


(b) Thông số kỹ thuật của một đèn biển

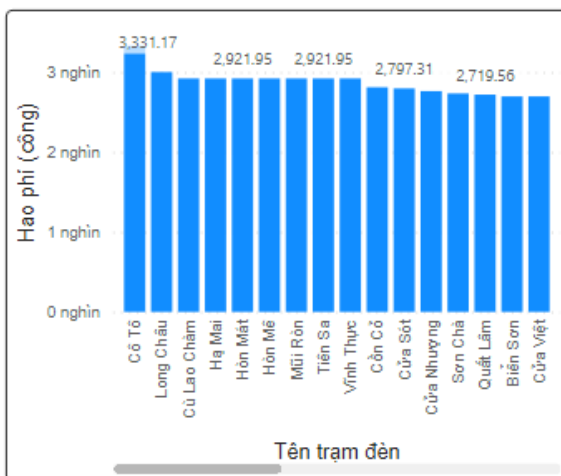
Hình 5. Giám sát thông số kỹ thuật đèn biển



(a) Chi phí vận hành của một đèn biển



(b) Chi phí vận hành tổng thể hệ thống đèn biển



(c) Hao phí nhân công theo trạm đèn

Hình 6. Quản lý chi phí vận hành, nhân công đèn biển

4. Kết luận

Các nghiệp vụ vận hành, lập dự toán hoặc thanh, quyết toán của công tác QLVH hệ thống đèn biển hiện nay thường chủ yếu dừng lại ở các quy trình đơn lẻ bằng các công cụ rời rạc, chưa có tính thống nhất. Chính vì vậy, các nghiệp vụ quản lý tổng thể hoặc rà soát, kiểm tra theo từng yêu cầu cụ thể sẽ gặp nhiều khó khăn, khả năng trực quan hóa dữ liệu bị hạn chế. Bài báo này đã ứng dụng được BI vào hỗ trợ công tác quản lý và vận hành hệ thống đèn biển đảm bảo tuân theo Thông tư số 38/2021/TT-BGTVT và góp phần nâng cao hiệu quả công tác QLVH hệ thống đèn biển thống nhất, mang tính trực quan và có tính liên thông kết nối giữa các công đoạn với nhau.

Lời cảm ơn

Nghiên cứu này được tài trợ bởi Trường Đại học Hàng hải Việt Nam trong đề tài mã số: **DT22-23.79**.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Bộ Giao thông vận tải, (2021), *Thông tư số 38/2021/TT-BGTVT về việc ban hành Định mức kinh tế - kỹ thuật trong lĩnh vực cung ứng dịch vụ sự nghiệp công bảo đảm an toàn hàng hải*,
- [2] Bộ Giao thông vận tải, (2015), *QCVN 20:2015/BGTVT Quy chuẩn kỹ thuật quốc gia về báo hiệu hàng hải*.
- [3] Công ty cổ phần đào tạo và tư vấn BAC, <https://www.bacs.vn/vi/blog/kiem-thuc/4-ung-dung-cua-business-intelligence-trong-kinh-doanh-phan-1-24211.html>.
- [4] E. Mazuin và R. Yusof, (2013), *The Study on the Application of Business Intelligence in Manufacturing: A Review*, International Journal of Business Intelligence Research, Vol.4, No.1, pp.43-51.
- [5] Tổng công ty Bảo đảm an toàn hàng hải miền Bắc, <http://vms-north.vn>.
- [6] A. Ferrari và M. Russo, (2016). *Introducing Microsoft Power BI*, Microsoft Press.

| | |
|--------------------|------------|
| Ngày nhận bài: | 17/12/2022 |
| Ngày nhận bản sửa: | 30/11/2022 |
| Ngày duyệt đăng: | 06/01/2023 |

ĐỀ XUẤT PHƯƠNG PHÁP DẪN TÀU AN TOÀN QUA NHỮNG KHU VỰC TIỀM ẨN NHIỀU NGUY CƠ TAI NẠN TRÊN TUYẾN LUỒNG HÀNG HẢI HẢI PHÒNG

RECOMMENDED METHODS FOR SAFE NAVIGATION THROUGH THE HIGH RISK AREAS OF MARINE ACCIDENTS ON THE HAI PHONG NAVIGATION CHANNEL

TRỊNH XUÂN TÙNG

Viện Đào tạo Chất lượng cao, Trường Đại học Hàng hải Việt Nam

Email liên hệ: trinxuantung@vimaru.edu.vn

Tóm tắt

An toàn hàng hải trên luồng cùng với việc nâng cao các điều kiện khai thác, tiếp nhận tàu đến và rời cảng là những yếu tố quan trọng tạo sức hấp dẫn, thu hút tàu có trọng tải lớn cập cảng Hải Phòng. Để đảm bảo các phương tiện ra vào cảng an toàn trên suốt tuyến luồng thì ngoài việc tuân thủ các quy định liên quan, các phương tiện ra vào cảng cũng phải lưu ý đến những ảnh hưởng khách quan từ các yếu tố khí tượng thủy văn và mật độ giao thông trên luồng hàng hải Hải Phòng. Bài báo đã tìm hiểu những khu vực tiềm ẩn nhiều nguy cơ về tai nạn trên tuyến luồng hàng hải Hải Phòng để đưa ra những khuyến cáo về phương thức dẫn tàu phù hợp đối với những tàu trọng tải lớn có môn nước sâu, nhằm nâng cao an toàn hàng hải, giảm thiểu tối đa nguy cơ gây mất an toàn trên tuyến luồng, góp phần xây dựng và phát triển cảng Hải Phòng văn minh hiện đại.

Từ khóa: An toàn hàng hải, tai nạn hàng hải, luồng hàng hải Hải Phòng, phương pháp dẫn tàu.

Abstract

Maritime safety on the navigational channel along with the improvement of conditions for exploitation and reception of ships arriving and departing are important factors that create attractiveness and attract ships of large tonnage to call at Hai Phong port. In order to ensure safe means of arrival and departure along the port's channel, in addition to complying with relevant regulations, the ship must also pay attention to the objective influences of atmospheric-hydrology factors and traffic density on the Hai Phong navigation channel. The article explores areas where there is a high risk of maritime accidents on the Hai Phong channel to make recommendations

on appropriate ship navigation methods for large tonnage ships with deep drafts to improve maritime safety and minimize causing unsafety on the channel, in order to contribute to the construction and development of Hai Phong port into a modern civilized international seaport.

Keywords: Maritime safety, maritime accident, Hai Phong navigational channel, ship's navigation methods.

1. Giới thiệu chung

Là một thành phố cảng lớn, Hải Phòng là một trong những khu kinh tế trọng điểm của khu vực phía Bắc [1]. Trong những năm qua, Hải Phòng là một trong những thành phố đi đầu trong việc hiện đại hóa hệ thống cảng biển, có ý nghĩa to lớn trong chiến lược phát triển kinh tế biển, góp phần đáp ứng các yêu cầu về công nghiệp hóa, hiện đại hóa trong giai đoạn hội nhập thế giới và khu vực.

Trong số các cảng ở miền Bắc Việt Nam, lượng hàng hóa thông qua cảng Hải Phòng luôn đạt giá trị cao nhất do cơ sở vật chất hiện đại và phương thức hoạt động vận hành bảo đảm an toàn trong và ngoài nước [1,2]. Trong hơn 100 năm xây dựng và phát triển, Cảng Hải Phòng đã từng bước mở rộng và hiện đại, đáp ứng yêu cầu phát triển kinh tế của đất nước và khu vực theo hướng vươn ra thế giới. Điều này thể hiện rõ khi lượng tàu chở container gia tăng đột biến, nhất là những tàu có trọng tải lớn. Theo cập nhật mới nhất của Tạp chí Lloyd's List, cảng Hải Phòng xếp thứ 28 trong 100 cảng container có lượng hàng hóa thông qua lớn nhất thế giới trong năm 2022 [3]. Ngoài ra, việc nạo vét luồng sâu hơn trong những năm qua cũng là điều kiện để lượng tàu vào cảng khu vực Hải Phòng nhiều hơn. Các sự kiện lớn như tiếp nhận thử nghiệm thành công tàu WANHAI A07 có trọng tải lớn nhất từ trước đến nay vào khu vực cảng biển Hải Phòng ngày 31/10/2022 [4], và sự kiện đón container thứ 1 triệu năm 2022 thông qua bến cảng quốc tế Tân Cảng Hải

Phòng (TC-HICT) [5] đã khẳng định sự cố gắng vượt bậc và là tiền đề để cảng góp phần phát triển kinh tế xã hội của thành phố Hải Phòng.

Để đạt được những thành tựu đó, tất yếu cần sự phát triển đồng bộ cả về cơ sở hạ tầng và điều kiện giao thông trên luồng hàng hải Hải Phòng. Tuy nhiên, thực tế cho thấy, vẫn còn tồn tại một số hạn chế và tiềm ẩn nhiều nguy cơ tai nạn hàng hải trên tuyến luồng dành cho tàu vào cảng Hải Phòng. Luồng hàng hải Hải Phòng chạy dọc sông Cẩm, sông Bạch Đằng dẫn ra cửa biển. Do bị ảnh hưởng bởi chế độ thủy văn nên luồng Hải Phòng có tốc độ sa bồi lớn, độ sâu luồng không đồng đều, có nhiều dải cạn cục bộ trên luồng, gây không ít khó khăn cho công tác dẫn tàu ra, vào cảng, cũng như hạn chế nhiều tàu lớn có mớn nước sâu vào cảng [6]. Cùng với đó, trừ những khu vực quay tàu của cảng thì hầu hết luồng Hải Phòng là một chiều, có độ rộng tương đối hẹp. Việc chờ thủy triều và chờ xếp “lót” tàu khiến nhiều tàu phải neo đậu tại bến Gót, vịnh Lan Hạ hoặc phao neo Bạch Đằng trước khi vào cảng cũng ít nhiều gây cản trở và tiềm ẩn nguy cơ xảy ra tai nạn hàng hải. Không những vậy, ngay cả đoạn tuyến luồng lớn nhất và sâu nhất trong hệ thống luồng như khu vực luồng Lạch Huyện thì hiện nay cũng đang bị sa bồi. Luồng Lạch Huyện được kéo dài thêm 5-6 km và đạt độ sâu từ âm 16 đến âm 14 m để có thể đón tàu lớn đến 160 nghìn tấn theo như thiết kế. Khi triển khai, độ sâu nạo vét lớn nhất là âm 14 m, nhưng không phải lúc nào cũng đạt đủ độ sâu này [6]. Hiện nay, khu nước trước bến cảng TC-HICT có độ sâu chỉ khoảng âm 9,1m, ảnh hưởng lớn đến việc tiếp nhận và có thể gây nguy cơ mắc cạn đối với những tàu lớn, có mớn nước sâu.

Do vậy, việc nghiên cứu và phân tích một cách kỹ lưỡng một số khu vực mà tại đó do ảnh hưởng bởi các đặc điểm thủy văn cũng như các yếu tố chủ quan do con người đã vô hình gây ra nguy cơ cao về tai nạn hàng hải cho các phương tiện có trọng tải lớn có mớn nước sâu hành trình, điều động ra vào trên luồng hàng hải Hải Phòng là thực sự cần thiết nhằm đảm bảo an toàn hàng hải, góp phần nâng cao sản lượng hàng hóa thông qua cảng, đánh dấu sự chuyển biến tích cực trong quá trình phát triển trở thành cảng biển quốc tế văn minh, hiện đại của Hải Phòng.

2. Tổng quan tuyến luồng Hải Phòng

Ngoài các hải đồ Anh theo quy định thì các phương tiện khi ra, vào luồng Hải Phòng sẽ phải sử dụng các hải đồ chi tiết VN50007, V14N0007, VN50008, và V14N0008 do Công ty Bảo đảm an toàn hàng hải Miền Bắc - Việt Nam phát hành.

Nhìn chung, ngoài những khu vực để quay và tránh tàu thì tuyến luồng Hải Phòng có độ rộng tương đối hẹp, được thiết kế theo hướng một chiều có. Có nhiều khu vực, tàu không thể tránh, vượt nhau được và bị giới hạn vận tốc 8 hải lý/giờ. Ngoài ra, do thường xuyên bị sa bồi nên luồng Hải Phòng có độ sâu không đồng đều, bề ngang của luồng chính hẹp và có nhiều dải cạn cục bộ trên một số khu vực, càng làm gia tăng nguy cơ mất an toàn hàng hải. Căn cứ binh đồ độ sâu được đo đạc và hoàn thành vào ngày 27/6/2022, luồng hàng hải Hải Phòng hiện nay bao gồm các tuyến được thể hiện theo Hình 1 cùng với thông số kỹ thuật các tuyến luồng được thể hiện chi tiết trong Bảng 1 [6,7].



Hình 1. Các tuyến luồng của luồng Hải Phòng [7]

Mật độ giao thông của luồng Hải Phòng tập trung chủ yếu vào giờ nước lớn trong ngày nên cũng gây hạn chế trong việc điều tiết các phương tiện ra, vào cảng và tiềm ẩn nhiều nguy cơ tai nạn trên suốt tuyến luồng.

Ngược với lợi thế về chế độ thủy triều nhật triều thuần khiết có biên độ triều đều, biến đổi có quy luật, thì dòng chảy trên luồng Hải Phòng lại khá phức tạp. Do chịu ảnh hưởng của dòng triều, nước lũ từ các sông Lục Nam, sông Thương, sông Cầu, sông Hồng chảy về, khiến cho dòng chảy siết khi triều lên và tạo ra dòng chảy có vận tốc lớn khi triều xuống, nhất là vào mùa mưa lũ. Bên cạnh đó, luồng Hải Phòng có địa hình quanh co, nhiều đoạn gấp, những khu vực giao với các nhánh sông cũng luôn tiềm ẩn nguy cơ về sự cố cũng như tai nạn hàng hải.

Có thể kể đến một số khu vực tồn tại nguy cơ cao, đã từng xảy ra không ít tai nạn hàng hải như: khu vực chân cầu Hoàng Văn Thụ; khu vực cầu SAR giao nhau giữa sông Ruột Lợn và sông Cẩm; khu vực ngã 3 cầu Bạch Đằng, khu vực ngã 3 cảng Nam Đình Vũ - giao nhau giữa sông Rút và sông Cẩm, khu vực giao nhau

giữa kênh Cái Tráp - kênh Hà Nam - Lạch Huyện, khu vực giao giữa kênh Cái Tráp, kênh Hà Nam, và sông Chanh,...

3. Một số vụ tai nạn điển hình gần đây trên luồng hàng hải Hải Phòng

Theo số liệu của Cục Hàng hải Việt Nam, số vụ tai nạn hàng hải trong phạm vi khu vực vùng biển Việt Nam nói chung và luồng hàng hải Hải Phòng nói riêng đều giảm liên tục trong những năm qua và tai nạn xảy

ra phần nhiều ở ngoài biển xa. Tuy nhiên, số người chết và số vụ tai nạn nghiêm trọng vẫn còn cao [8,9]. Đặc biệt đã có những vụ tai nạn nghiêm trọng xảy ra trong phạm vi luồng hàng hải Hải Phòng trong năm 2022. Cụ thể có thể liệt kê như sau:

Khoảng 07 giờ 30 phút ngày 27/02/2014, tàu Phú Sơn có trọng tải 3.500 tấn bị tàu Nghĩa Hải 02 đâm chìm khi đang neo tại phao số 0 để xin lệnh nhập luồng Hải Phòng.

Bảng 1. Thông số kỹ thuật các tuyến luồng của luồng hàng hải Hải Phòng [6, 7]

| TT | Tuyến luồng | Độ dài (km) | Độ rộng đáy luồng (m) | Độ sâu (m) | |
|----|--|--|---|--|------|
| 1 | Từ phao số 0 đến khu vực quay tàu của Cảng container Quốc tế Hải Phòng | 20.0 | 160 | -12.5 | |
| | Lạch Huyện (từ phao số 0 đến cặp phao số 29, số 30) | | 120 | -7.0 | |
| | Khu vực quay tàu của Cảng container Quốc tế Hải Phòng | | Giới hạn bởi khu vực bán kính 330 m, có tâm tại tọa độ 20°48'11.3"N, 106°54'31.8"E | -10.8 | |
| 2 | Hà Nam (từ cặp phao số 29, số 30 đến cặp phao số 43, số 46) | 5.9 | 80 | -6.9 | |
| 3 | Bạch Đằng (từ cặp phao số 43, số 46 đến cửa kênh Đình Vũ) | 9.6 | Luồng tàu chạy | 80 | -7.0 |
| | Khu vực quay tàu của cảng Đình Vũ | | Giới hạn bởi khu vực bán kính 130 m, có tâm tại tọa độ 20°50'40.1"N, 106°46'08.5"E | -7.0 | |
| 4 | Sông Cấm (từ cửa kênh Đình Vũ đến bến phà Bính) | 9.8 | Từ cửa kênh Đình Vũ đến khu vực thượng lưu của cảng Nam Hải | 80 | -6.9 |
| | | | Khu vực thượng lưu của cảng Nam Hải đến khu vực thượng lưu cầu cảng số 1 - cảng Hải Phòng | 80 | -6.9 |
| | | | Khu vực thượng lưu cầu cảng số 1 - cảng Hải Phòng đến khu vực bến phà Bính | 80 | -6.8 |
| | | | Khu vực quay tàu của cảng Chùa Vẽ | Giới hạn bởi khu vực bán kính 110 m, có tâm tại tọa độ 20°51'47.8"N, 106°43'34.0"E | -5.2 |
| | | | Khu vực quay tàu ở hạ lưu cảng Cấm | Giới hạn bởi khu vực bán kính 110 m, có tâm tại tọa độ 20°52'23.5"N, 106°42'53.5"E | -5.3 |
| | Khu vực quay tàu trước cảng Hải Phòng | Giới hạn bởi khu vực bán kính 110 m, có tâm tại tọa độ 20°52'11.5"N, 106°41'06.2"E | -5.3 | | |

Vào hồi 20 giờ 15 phút ngày 19/5/2017, tàu Bình Dương 658 bị chìm do va chạm với tàu dầu Hải Linh 02 tại khu vực cặp phao số 13-14.

Tàu Vinaline Pioneer va chạm với nhà đèn 331 ở luồng Hải Phòng gây hư hỏng hoàn toàn vào lúc 11 giờ 00 phút ngày 16/5/2018.

Ngày 22/6/2022, tàu Nam Thịnh 126 bị sóng dòn, tàu quay ngang, và bị chìm khi neo tại khu neo Hòn Dấu, Hải Phòng.

Ngày 10/8/2022, tàu Tiger Maanshan đâm va với cầu Cảng Đình Vũ khiến cho khu vực cánh gà buồng lái va chạm với trụ cần cầu của cảng. Phía sau lái tàu Tiger Maanshan cũng va chạm với tàu container khác đang làm hàng trong cầu cảng.

Vào lúc 11 giờ 23 phút ngày 26/9/2022, tại khu vực Đình Vũ, tàu hàng Thanh Bình 18 và tàu cá HP-90200.TS va chạm với nhau, khiến tàu cá bị chìm và 2 ngư dân mất tích.

Vào lúc 16 giờ 30 phút ngày 21/4/2022, tàu hàng Outrivaling 3, trọng tải 12.000 tấn bị mất khả năng điều động trong quá trình cập cầu nên đã va chạm với gầm lan can cầu Hoàng Văn Thụ. Cú va mạnh khiến một số hạng mục của cầu Hoàng Văn Thụ bị hư hỏng, mũi tàu bị kẹt lại dưới gầm cầu Hoàng Văn Thụ.

4. Những khuyến cáo về phương pháp dẫn tàu an toàn qua các khu vực tiềm ẩn nguy cơ tai nạn trên tuyến luồng Hải Phòng

Nguyên nhân cơ bản của các vụ tai nạn hàng hải tại những khu vực có nguy cơ trên là do sự ảnh hưởng của các yếu tố bên ngoài như: dòng triều, bãi cạn,... và yếu tố mật độ giao thông đông đúc cũng như sự tuân thủ không nghiêm túc các quy định về tuyến luồng của các phương tiện thủy nội, hoặc thiếu sự cẩn trọng công tác chuẩn bị an toàn trong suốt quá trình điều động tàu mà thuyền trưởng và hoa tiêu đã dẫn tàu đi sai với quỹ đạo mong muốn, gây mất an toàn hàng hải và dẫn đến những vụ tai nạn đáng tiếc trên luồng hàng

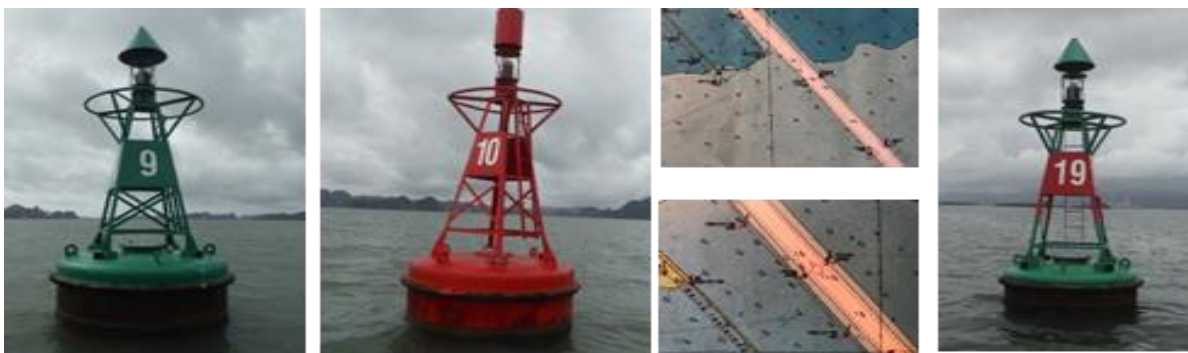
hải Hải Phòng. Do vậy, bên cạnh việc tuân thủ Quy tắc phòng ngừa đâm va tàu thuyền trên biển (Colregs 72) [10,11] và các quy định, cơ sở pháp lý khác có liên quan về an toàn khi tàu hành trình trong luồng [12-19] thì việc nắm rõ các yếu tố thủy văn, sự thay đổi độ sâu của luồng cùng với sự ảnh hưởng của dòng triều tại những khu vực tồn tại nguy cơ tai nạn là yếu tố quan trọng nhằm khuyến cáo Thuyền trưởng và Hoa tiêu lựa chọn phương án dẫn tàu phù hợp đảm bảo an toàn trong quá trình điều động tàu ra vào luồng Hải Phòng.

4.1. Điểm nhập luồng Lạch Huyện

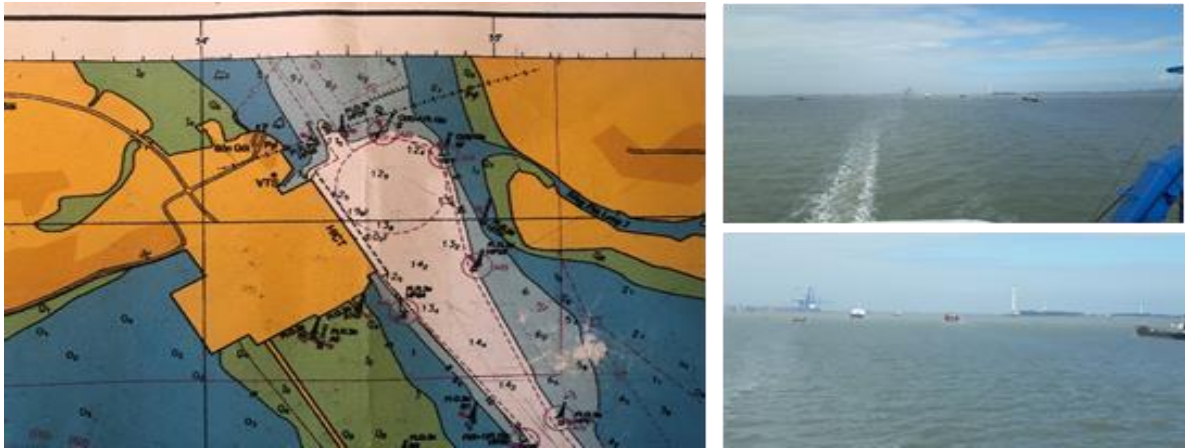
Theo Điều 10 của “Nội quy cảng biển Hải Phòng” như sau: “*khi tàu hành trình từ biển vào cảng hoặc rời cảng ra biển, tàu thuyền phải hành trình theo đúng tuyến luồng qua phao số “0” và đón trả hoa tiêu đúng quy định*” [12]. Tuy nhiên, trên thực tế, nhằm rút ngắn quãng đường và thời gian thì có rất nhiều tàu nhỏ ra/vào luồng trái với quy định bằng cách hành trình cắt ngang và nhập/thoát luồng tại vị trí phao số 9, 10. Tại khu vực này, do có sự thay đổi độ sâu luồng đột ngột (từ trên 6 m xuống còn hơn 5 m) nên các phương tiện chạy cắt ngang sai quy định như trên thường hành trình theo phía dưới (phía Nam) của phao số 10 nhằm giảm nguy cơ mắc cạn. Do vậy, tàu thuyền khi hành trình bắt đầu nhập luồng Hải Phòng từ phao số 0 trên luồng Lạch Huyện thì cần đặc biệt chú ý, tăng cường cảnh giới đối với những phương tiện hành trình cắt ngang luồng không đúng với quy định như trên. Ngoài ra, sau khi nhập luồng an toàn, các phương tiện cũng cần lưu ý điểm báo cáo “report in” tại cặp phao số 19 - 20 như mô tả trên Hình 2.

4.2. Vùng quay tàu trước cảng container Quốc tế Hải Phòng

Khu vực trước cảng HITC là khu quay trở của cảng container nước sâu dành các tàu có mớn nước lớn. Tại đây, theo như mô tả Hình 3, độ sâu luồng thiết kế có thể đạt tới âm 12.5 m nhưng do ảnh hưởng bởi



Hình 2. Các phao nhập luồng hàng hải Hải Phòng



Hình 3. Khu vực cảng container quốc tế Hải Phòng (HITC)

sa bồi, nên độ sâu thực tế chỉ là khoảng âm 9,1 m cho đến âm 10,8 m, ảnh hưởng nhiều đến việc ra, vào và có thể gây nguy cơ mắc cạn đối với tàu có trọng tải lớn, mớn nước sâu. Do vậy, các phương tiện khi hành trình từ ngoài vào thì ngoài việc duy trì tốc độ an toàn không vượt quá 8 hải lý/giờ [12] cũng phải chú ý về việc đi bám bên phải luồng theo hướng phao số 21 - 23 để đảm bảo có đủ diện tích và tầm nhìn khi đi qua cảng HITC nếu như có tàu lớn đang quay trở, đồng thời không gây cản trở cho các phương tiện ra vào khu neo Bến Gót BG9.

4.3. Khu vực giao giữa kênh Cái Tráp, kênh Hà Nam, và luồng Lạch Huyện

Theo Hình 4, đây là khu vực giao thông hỗn hợp giữa tuyến luồng vào cảng Hải Phòng và đường giao thông thủy nội địa đi Quảng Ninh. Do ảnh hưởng hỗn hợp dòng từ sông Chanh nên khi thủy triều lên xuống thì dòng chảy tại khu vực này khá mạnh, có thể đạt tới 3 hải lý/giờ. Mật độ giao thông tại đây khá phức tạp

và dày đặc gây mất an toàn hàng hải và nguy cơ tai nạn cao do có nhiều tàu biển có trọng tải lớn qua luồng Lạch Huyện vào kênh Hà Nam cùng với nhiều tàu cao tốc 2 chiều Cát Bà - Hải Phòng và nhiều phương tiện thủy nội địa, sà lan di chuyển cắt ngang luồng ra vào Kênh Cái Tráp và sông Chanh, và ngược lại. Ảnh hưởng của dòng chảy tới việc điều khiển tàu qua khu vực này là tương đối lớn [20], khiến cho tính ăn lái của tàu sẽ giảm, đặc biệt khi thủy triều rút. Chính vì vậy, đối với các tàu khi đi từ ngoài vào cần chú ý đặc biệt chuyển hướng theo phao số 29. Ngược lại, khi thủy triều lên thì những tàu khi hành trình từ ngoài vào, phải thực hiện việc bẻ lái sớm, tránh việc bị dòng đẩy tàu vượt ra ngoài luồng vào khu neo Bến Gót BG3 hoặc khu neo phía trên đó, hoặc có nguy cơ bị đẩy vào ngoài luồng.

Một điểm đặc biệt đáng chú ý cho phương tiện thủy khi hành trình qua khu vực này đó là việc phải



Hình 4. Khu vực giao kênh Cái Tráp, kênh Hà Nam và luồng Lạch Huyện



Hình 5. Kênh Hà Nam, luồng Hải Phòng

chờ “lọt” qua kênh do đặc điểm một chiều của kênh Hà Nam như Hình 5. Do đó, nếu bắt buộc phải chờ “lọt” qua kênh Hà Nam, các phương tiện duy trì tốc độ an toàn tại khu vực phao số 27 và tránh nhau trước phao số 29.

4.4. Nút giao kênh Cái Tráp, kênh Hà Nam và luồng Nam Triệu

Một điểm đáng lưu ý cho các phương tiện ra vào trên tuyến luồng Hải Phòng đó là luồng Nam Triệu vẫn đang được dùng cho các tàu thuyền nhỏ và sà lan như được mô tả trong Hình 6. Nhiều tàu thuyền nhỏ di chuyển không đúng với tuyến luồng đã được quy định và thường chạy cắt luồng để nhập luồng Nam Triệu và kênh Cái Tráp (đoạn phao 46 - 48). Hơn nữa, theo như nghiên cứu bằng ứng dụng CFD xây dựng dòng chảy luồng Hải Phòng [20] thì dòng chảy ở khu vực này không ổn định và chảy siết cùng với nhiều khu vực nông cạn ở cửa sông Bạch Đằng và phía Đảo Đình Vũ nên tình hình giao thông hàng hải tại khu vực này rất phức tạp, tồn tại nhiều nguy cơ tai nạn hàng hải. Những tàu hành trình ra khỏi luồng xuôi dòng vào

thời điểm thủy triều xuống hoặc tàu đi ra từ kênh Hà Nam lúc lúc triều lên rất dễ bị mất tính nghe lái và nguy cơ mắc cạn ở khu vực phao số 46, do vậy tàu cần lưu ý duy trì tốc độ an toàn theo quy định, đảm bảo tàu ăn lái và hành động bẻ lái sớm một cách phù hợp.

4.5. Khu vực vùng nước phía trước cảng Nam Đình Vũ

Vùng nước phía trước cảng Nam Đình Vũ là ngã 3 giao giữa luồng sông Cấm và sông Rút. Tại đây có điểm báo cáo tại phao báo hiệu an toàn phía Nam - phao S2 màu vàng - đen. Các phương tiện khi hành trình qua đây phải thực hiện báo cáo cảng vụ và lưu ý các bãi cạn gần vị trí phao S2 và hành trình an toàn theo phía Nam của phao S2. Khi thủy triều lên, các phương tiện đi vào luồng có xu hướng bị đẩy lên phía Bắc, trong khi các phương tiện đi ra vào thời điểm thủy triều xuống thì lại bị đẩy về phía Đông của phao, rất dễ xô vào bãi cạn gần đó. Điển hình cho nguy cơ tai nạn tại khu vực này chính là sự cố tàu Vinaline Pioneer do không làm chủ được tốc độ và bị dòng đẩy lúc thủy triều dâng đã va chạm với nhà đèn 331 vào



Hình 6. Nút giao kênh Cái Tráp, kênh Hà Nam và luồng Nam Triệu



Hình 7. Vùng nước trước cảng Nam Đình Vũ và tai nạn của tàu Vinaline Pioneer ngày 16/5/2018

ngày 16/5/2018 như Hình 7. Do đó, các phương tiện qua khu vực này lưu ý hành trình duy trì tốc độ an toàn và bám sát phao đo.

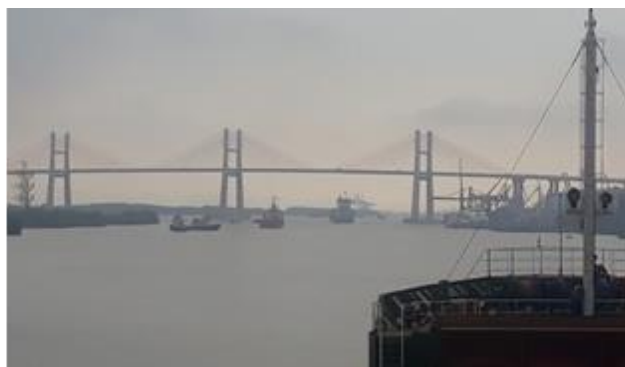
4.6. Khu vực chân cầu Bạch Đằng - cảng Đình Vũ

Như được thể hiện trong Hình 8, dòng chảy tại khu vực giao nhau giữa sông Bạch Đằng và sông Cấm là tương đối mạnh [20]. Khi có thủy triều lên, dòng nước có xu hướng đẩy tàu lên phía Bắc (hướng Thủy Nguyên) và xô vào bãi cạn. Hơn nữa, tại khu vực này tầm nhìn xa có thể bị hạn chế do vị trí tương đối giữa tàu và các mỏ cầu Bạch Đằng và nhiều bãi cạn gần cửa sông Bạch Đằng làm gia tăng nguy cơ tai nạn. Tại gần khu vực này được thiết kế vùng quay tàu của cảng Đình Vũ ngay sau phao hiệu an toàn S1 (màu vàng - đen) cộng thêm lượng tàu thuyền nhỏ ra vào luồng sông Đá Bạch thường xuyên đổi hướng, cắt hướng

hoặc thậm chí hành trình ngược chiều với tuyến luồng quy định làm cho tình hình giao thông thêm phức tạp. Do vậy, khi hành trình từ ngoài luồng vào thì các phương tiện phải lưu ý đi bám sát phao xanh và bắt theo nhà đèn W, đồng thời giảm tốc độ tại phao S1, còn các phương tiện hành trình từ trong ra phải bám sát mỏ cầu phía Hải Phòng cùng với việc phát tín hiệu cảnh báo tầm nhìn xa hạn chế theo đúng quy định của Colregs72.

4.7. Khu vực cầu SAR

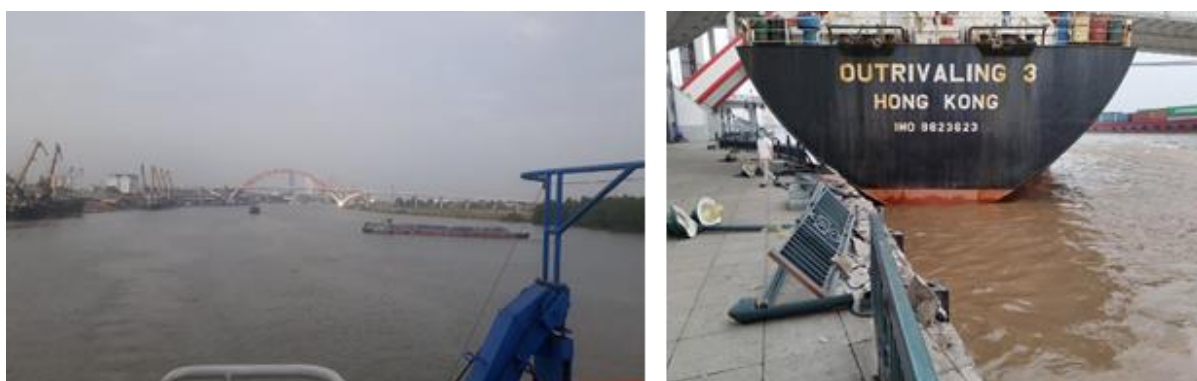
Càng đi sâu vào trong luồng hàng hải Hải Phòng thì độ rộng luồng càng bị thu hẹp lại. Tại khu vực cầu của Trung tâm tìm kiếm cứu nạn (cầu SAR) với độ rộng luồng tương đối hẹp chỉ 80 m, có nhiều bãi bồi



Hình 8. Khu vực chân cầu Bạch Đằng - cảng Đình Vũ



Hình 9. Khu vực cầu SAR và bến đò Máy Chai



Hình 10. Khu vực cầu Hoàng Văn Thụ và sự cố của tàu Outrivaling 3

và độ sâu biến đổi phức tạp ở hai bên mép luồng cùng với rừng cây ngập mặn làm khuất tầm nhìn của các phương tiện hành trình trên tuyến luồng chính. Đặc biệt, từ phía trong của sông Ruột Lợn có Đò Máy Chai cùng với nhiều phương tiện nhỏ thường xuyên chạy cắt ngang luồng làm gia tăng nguy cơ mắc cạn và tai nạn hàng hải. Đã có nhiều sự cố tai nạn đâm va xảy ra tại đây này mà nguyên nhân chủ yếu là do tàu bị mất khả năng nghe lái. Do vậy, khi hành trình vào sâu trong cảng Hải Phòng thì các phương tiện lưu ý bám sát phao đỏ (phao số 68) để tránh bị đẩy lên bãi cạn và tránh đâm va với các tàu đang neo đậu trong cảng.

Đồng thời, dọc theo tuyến luồng từ cầu Bạch Đằng - cầu Hoàng Văn Thụ, các phương tiện cần lưu ý về giờ xả luồng (thường vào tầm cuối giờ thủy triều dâng) là giờ của nhà máy xi măng để xả lan đi ra, nên có rất nhiều phương tiện nhỏ nối đuôi nhau đi lại dọc bên luồng cũng như rất nhiều phương tiện neo chờ bên ngoài đã chiếm nhiều diện tích luồng và diện tích quay trở của tàu lớn. Do vậy, tàu hành trình qua khu vực này cần luôn duy trì tốc độ an toàn và đảm bảo tính nghe lái của tàu một cách thích hợp để không xảy ra tai nạn như tàu hàng Outrivaling 3 đã nêu ở phần trên. Trong trường hợp tàu Outrivaling 3 ở Hình 10, việc tàu bị trôi nhưng không thể thả neo để ghìm tàu lại bao

gồm cả lý do an toàn tránh tai nạn lớn hơn xảy ra đối với hàng loạt sà lan và các tàu khác đang neo ở khu vực cầu Hoàng Văn Thụ. Nếu thả neo thì dưới ảnh hưởng của dòng triều, tàu sẽ quay theo dòng nước và có thể nhấn chìm hàng loạt sà lan bên cạnh đó.

5. Kết luận

Mặc dù các quy định đã được ban hành dưới dạng văn bản pháp quy về việc đảm bảo nội quy an toàn khi hành trình trên luồng Hải Phòng nhưng những nguy cơ tai nạn hàng hải thì vẫn luôn tiềm ẩn. Thực tế, nguyên nhân cơ bản của các tai nạn đã xảy ra tại những khu vực tồn tại nhiều tiềm ẩn nguy cơ tai nạn chính là việc người điều khiển tàu không nắm rõ yếu tố ảnh hưởng trong từng tình huống, dẫn đến những sai lầm trong việc đánh giá các nguy cơ an toàn, điều khiển tàu đi không đúng với quỹ đạo của luồng. Do vậy, nhằm đảm bảo hơn nữa an toàn hàng hải trên tuyến luồng Hải Phòng, đặc biệt ở những khu vực có nguy cơ tai nạn cao thì người điều khiển tàu cần phải tuyệt đối tuân thủ những quy định liên quan về phòng ngừa đâm va tàu thuyền trên biển, những cảnh báo của cảng vụ và hướng dẫn của trạm điều phối giao thông.

Bên cạnh đó, việc bảo đảm nguyên tắc an toàn giữa cầu và phương tiện neo đậu hay quy hoạch, hạn

ché tình trạng neo đậu bừa bãi, lấn chiếm luồng hàng hải trên sông Cấm như hiện nay là một trong những việc cần làm ngay của cơ quan quản lý nhà nước về cảng biển trong thời điểm này, góp phần nâng cao hơn nữa công tác an toàn hàng hải suốt tuyến luồng Hải Phòng.

Lời cảm ơn

Nghiên cứu này được tài trợ bởi Trường Đại học Hàng hải Việt Nam trong đề tài mã số: **DT22-23.126**.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Minh Duc Nguyen, S.June Kim, *Application of game theory to analyze the competition and cooperation scenarios among container terminals in Northern Vietnam*, The Asian Journal of Shipping and Logistics, vol. 36 (1), pp. 13-19, 2020.
- [2] Thi Yen Pham, Jun Woo Jeo, Viet Linh Dang, Young Doo Cha, Gi Tae Yeo, *A Longitudinal Analysis of Concentration Developments for Container Terminals in Northern Vietnam*, The Asian Journal of Shipping and Logistics, vol. 32(3), pp. 157-163, 2016.
- [3] Báo Điện tử chính phủ, *3 cảng biển Việt Nam lọt TOP 100 cảng container lưu thông hàng hóa lớn nhất thế giới*, 2022, truy cập ngày 12/11/2022.
<https://baochinhphu.vn/3-cang-bien-viet-nam-lot-top-100-cang-container-luu-thong-hang-hoa-lon-nhat-the-gioi-10222111193221424.htm>
- [4] Công thông tin thành phố Hải Phòng, *Cảng container quốc tế Tân cảng Hải Phòng: Đón tàu sức chở 13.000TEU lần đầu cập cảng*, 2022, truy cập ngày 01/11/2022.
<https://thanhphohaiphong.gov.vn/cang-container-quoc-te-tan-cang-hai-phong-don-tau-suc-cho-13-000-teu-lan-dau-cap-cang.html>
- [5] Cảng vụ Hàng hải Hải Phòng, *Tổ chức đón TEU thứ 1 triệu thông qua bến cảng Container quốc tế Tân cảng Hải Phòng năm 2022*, 2022.
- [6] Tổng công ty Bảo đảm an toàn Hàng hải miền Bắc, *Về thông số kỹ thuật của luồng Hàng hải Hải Phòng*, 2022, truy cập ngày 10/11/2022.
- [7] Cảng vụ Hàng hải Hải Phòng, *Luồng Lạch Huyện*, 2022, truy cập ngày 10/11/2022.
- [8] Bộ Giao thông vận tải, *Thông tư số 34/2015/TT-BGTVT ngày 24/7/2015 về quy định báo cáo, điều tra tai nạn hàng hải*, 2015.
- [9] Cục Hàng hải Việt Nam, *Báo cáo tổng kết tai nạn*

hàng hải năm 2021, 2021, truy cập ngày 10/11/2022.

- [10] IMO, *Quy tắc phòng ngừa đâm va tàu thuyền trên biển (Colregs 72)*.
- [11] Bộ Giao thông vận tải, *Thông tư số 19/2013/TT-BGTVT ngày 06/8/2013 Quy định việc áp dụng Quy tắc quốc tế về phòng ngừa đâm va tàu thuyền trên biển*, 2013.
- [12] Cảng vụ Hàng hải Hải Phòng, *Nội quy cảng biển Hải Phòng*, 2018, truy cập ngày 05/11/2022.
- [13] Quốc Hội, *Bộ luật Hàng hải Việt Nam, Luật số 95/2015/QH13*, 2015.
- [14] Chính phủ, *Nghị định số 173/2007/NĐCP ngày 28/11/2007 về Tổ chức và hoạt động của Hoa tiêu hàng hải*, 2007.
- [15] Chính phủ, *Nghị định số 58/2017/NĐ-CP ngày 10/5/2017 về Quy định chi tiết một số điều của Bộ luật Hàng hải Việt Nam về quản lý hoạt động hàng hải*, 2017.
- [16] Bộ Giao thông vận tải, *Thông tư số 27/2016/TT-BGTVT ngày 12/10/2016 về Quy định đào tạo, cấp, thu hồi giấy chứng nhận khả năng chuyên môn hoa tiêu hàng hải và giấy chứng nhận vùng hoạt động hoa tiêu hàng hải*, 2016.
- [17] IMO, *Công ước quốc tế về dấu chuyên chở Loadlines*, 1966
- [18] IMO, *Công ước quốc tế về an toàn sinh mạng con người trên biển - SOLAS*, 1974
- [19] IMO, *Nghị quyết A960 (23) ngày 05/12/2003 của IMO về huấn luyện, cấp bằng và các quy trình hoạt động áp dụng đối với hoa tiêu hàng hải*, 2013.
- [20] Phạm Ky Quang, Vu Van Duy, Nguyen Xuan Phuong, Nguyễn Văn Cang, *Ứng dụng CFD xây dựng bản đồ dòng chảy trên tuyến luồng hàng hải - thí điểm thử nghiệm trên tuyến luồng Hải Phòng, Việt Nam*, Tạp chí Khoa học công nghệ Giao thông vận tải, số 27+28, tr.226-230, 5/2018.

| | |
|---------------------------|------------|
| Ngày nhận bài: | 22/11/2022 |
| Ngày nhận bản sửa lần 01: | 06/12/2022 |
| Ngày nhận bản sửa lần 02: | 20/12/2022 |
| Ngày duyệt đăng: | 27/12/2022 |

PHÂN TÍCH SO SÁNH HIỆU QUẢ KHAI THÁC CỦA CÁC BẾN CẢNG CONTAINER KHU VỰC CẢNG BIỂN HẢI PHÒNG GIAI ĐOẠN 2016-2022

COMPARATIVE ANALYSIS ON OPERATIONAL EFFICIENCY OF CONTAINER TERMINALS IN HAIPHONG PORT FROM 2016 TO 2022

LÊ MẠNH HƯNG^{1*}, NGUYỄN HỒNG VÂN²

¹Khoa Kinh tế, Trường Đại học Hàng hải Việt Nam

²Phòng Quan hệ Quốc tế, Trường Đại học Hàng hải Việt Nam

*Email liên hệ: hunglm.kt@vimaru.edu.vn

Tóm tắt

Hiệu quả khai thác đóng vai trò quan trọng trong các hoạt động khai thác của các bến cảng nói chung và bến cảng container khu vực cảng biển Hải Phòng nói riêng. Đứng trước bối cảnh Việt Nam đang hội nhập toàn cầu nhanh chóng về nhiều phương diện, đặc biệt là kinh tế, hiệu quả khai thác của các bến cảng container khu vực cảng biển Hải Phòng là một yếu tố cốt lõi cần được đánh giá kỹ để có định hướng và quy hoạch rõ ràng trong chiến lược phát triển kinh tế địa phương. Bài nghiên cứu này tập trung vào việc phân tích so sánh hiệu quả khai thác tương đối của 15 bến cảng container tại khu vực Hải Phòng trong giai đoạn từ năm 2016 đến năm 2022 thông qua phương pháp phân tích bao dữ liệu DEA với 02 mô hình CCR và BCC bằng phần mềm R. Kết quả cho thấy bến Greenport, bến Hải An, bến Tân Vũ có hiệu quả khai thác cao nhất trong 15 bến cảng container được lựa chọn giai đoạn 2016-2022, còn bến Đoàn Xá, bến Tân Cảng - HICT thì ngược lại. Nghiên cứu này là một sự đóng góp của nhóm tác giả tới các nghiên cứu về hiệu quả khai thác cảng biển Việt Nam và có thể là một cơ sở tham khảo cho các cấp quản lý thuộc Sở, Ban, Ngành liên quan đến cảng biển Hải Phòng xây dựng các chính sách phát triển, định hướng quy hoạch phù hợp với địa phương, đất nước trong thời kỳ tới.

Từ khóa: Hiệu quả khai thác tương đối, bến cảng container, cảng biển Hải Phòng, phân tích bao dữ liệu (DEA).

Abstract

Operational efficiency plays an important role in operational activities in port terminals as a whole and container ones in Haiphong port in particular. In the context of rapid Vietnam's globalization in the variety of aspects, especially

economics, operational efficiency of container terminals in Haiphong port is one key factor, which should be evaluated thoroughly to see clear orientation and masterplan in local economic development policies. This paper aims to comparative analysis on relative operational efficiency of 15 container terminals in Haiphong over the period from 2016 to 2022 through Data Envelopment Analysis (DEA) method in CCR and BCC models by R software. The result shows Greenport terminal, Hai An terminal, Tan Vu terminal have the highest operational efficiency in 15 selected container terminals between 2016 and 2022 while the opposite is true for Doan Xa terminal, Tan Cang - HICT terminal. The research is an authors' contribution to ones in terms of operational efficiency of Vietnam port and could be a reference for government administrators related to Haiphong port to build development policies, masterplan suitable with the local, country in the next period..

Keywords: Relative operational efficiency, container terminal, Haiphong port, Data Envelopment Analysis (DEA).

1. Đặt vấn đề

Hải Phòng, một thành phố ven biển với mạng lưới giao thông vận tải kết nối rộng lớn giữa nhiều quốc gia trong khu vực Đông Nam Á nói riêng và thế giới nói chung, đang phát triển mạnh mẽ về cảng biển. Cảng biển ngày càng đóng vai trò quan trọng như một điểm kết nối xuyên suốt trong một chuỗi cung ứng toàn cầu đang biến chuyển liên tục trong xu hướng container hóa. Cảng biển Hải Phòng hiện có nhiều bến cảng đang hoạt động khai thác hàng container với tổng lượng hàng thông qua cả khu vực là 3.758.994TEU [1]. Con số trên đồng nghĩa tổng lượng hàng container thông qua các bến cảng khu vực Hải Phòng chiếm tới gần 21,50% tổng lượng hàng container thông qua của cả nước. Nó cho thấy tầm quan trọng của các bến cảng

container khu vực Hải Phòng đối với sự tăng trưởng nền kinh tế quốc gia.

Đứng trước bối cảnh Việt Nam đang hội nhập toàn cầu nhanh chóng về nhiều phương diện, đặc biệt là kinh tế, hiệu quả khai thác của các bến cảng container khu vực cảng biển Hải Phòng là một yếu tố cốt lõi cần được đánh giá sâu để có định hướng và quy hoạch rõ ràng trong chiến lược phát triển kinh tế địa phương nói riêng và nền kinh tế quốc gia nói chung. Bài nghiên cứu này tập trung vào phân tích so sánh hiệu quả khai thác tương đối của 15 bến cảng container tại khu vực Hải Phòng trong giai đoạn từ năm 2016 đến năm 2022 thông qua các yếu tố đầu vào và đầu ra nhất định được nhóm tác giả lựa chọn. Dù đã tồn tại một số nghiên cứu liên quan đến hiệu quả khai thác của các bến container khu vực cảng biển Hải Phòng nhưng chúng đều chưa đánh giá lại tình hình mới nhất hiện nay, đặc biệt sau khi Việt Nam phải hứng chịu sự tác động mạnh mẽ của đại dịch toàn cầu mang tên COVID-19 vào năm 2020.

Nghiên cứu này được nhóm tác giả xây dựng cấu trúc: Phần 2 tổng quan cơ sở lý luận về cảng biển container và hiệu quả khai thác của nó; phần 3 sơ lược về phương pháp nghiên cứu được sử dụng; phần 4 tập trung thể hiện kết quả phân tích so sánh hiệu quả khai thác của 15 bến cảng container khu vực Hải Phòng; phần cuối tổng kết sự đóng góp của nhóm tác giả, nhìn nhận một số hạn chế và cơ hội phát triển nghiên cứu trong tương lai.

2. Cơ sở lý luận

2.1. Cảng biển container

Cảng biển trong khái niệm truyền thống là “một tổ hợp của các đê chắn sóng, âu thuyền và cầu bến để phục vụ cho tất cả các loại hàng hóa và tàu thuyền” [2]. Tác giả Branch định nghĩa cảng biển là một bến cảng với khu vực cho phép các tàu biển thực hiện hoạt động xếp dỡ hàng hóa và chờ đợi để làm hàng [3]. Cảng biển, theo khía cạnh kinh tế, được định nghĩa là nơi cần thiết để các tàu biển trú ngụ và hàng hóa di chuyển xuyên suốt, thậm chí bị thay đổi [4]. Cảng biển cũng được thể hiện theo một mô hình hệ thống liên quan đến vị trí địa lý bởi hai tác giả Notteboom và Rodrigue [5]. Theo tác giả Talley, cảng biển là nơi diễn ra việc di chuyển hàng hóa, hành khách theo đường biển và có sự khác nhau giữa một cảng biển và một bến cảng [6].

Tác giả Steenken et al. cho rằng sự tồn tại đa dạng của các bến container chủ yếu được quyết định bởi các loại trang thiết bị được thiết kế trong cảng [7]. Cảng biển container như khu vực được thiết kế đặc biệt chỉ

phục vụ các phương tiện vận tải và cung cấp các dịch vụ liên quan đến hàng hóa container [8], [9].

2.2. Hiệu quả khai thác của cảng biển

Đề tài về hiệu quả khai thác cảng biển được rất nhiều nhà nghiên cứu quan tâm từ trước đến nay vì tầm quan trọng của nó đối với nền kinh tế địa phương cũng như quốc gia. Cảng biển bao gồm rất nhiều các hoạt động đa dạng như làm hàng, lưu kho, lưu bãi, hoạt động logistics giá trị gia tăng với mục tiêu kinh doanh, tìm kiếm lợi nhuận. Hiệu quả khai thác cảng biển thường được đánh giá dựa trên nhiều yếu tố như chiều dài cầu tàu, diện tích bến cảng, số lượng cầu bờ, bãi [10]. Ngoài ra, hầu hết các nhà khai thác bến cảng đều hướng đến mục tiêu tối đa hóa sản lượng đầu ra để nâng cao hiệu quả khai thác [11]. Họ cần phải đưa ra quyết định đầu tư cơ sở hạ tầng bến cảng phù hợp để nâng cao hiệu quả khai thác bến cảng [12]. Tác giả Hà Minh Hiếu cho rằng hiệu quả khai thác bến cảng container được thể hiện bằng lượng container thông qua hoặc lượng tàu container qua cảng [9].

Hiệu quả khai thác cảng biển được đánh giá qua nhiều phương pháp, trong đó phổ biến nhất là phương pháp phân tích bao dữ liệu DEA. Phương pháp này cho phép đánh giá một cách tương đối đối với hiệu quả khai thác của các cảng biển. Như vậy, hiệu quả khai thác tương đối của cảng biển được hiểu là một kết quả so sánh giữa các cảng biển với nhau để nhìn nhận mức độ hiệu quả khai thác giữa các cảng này với các yếu tố đầu vào và đầu ra có định mà không xét đến các yếu tố ngoại lai.

Khởi đầu sự nở rộ của các nghiên cứu về hiệu quả khai thác cảng biển với phương pháp mô hình toán trên là của Roll và Hayuth [13]. Dù nhiều phương pháp nghiên cứu mới ra đời và ngày càng đa dạng theo sự tiến bộ của công nghệ máy tính nhưng phương pháp bao dữ liệu DEA vẫn được sử dụng nhiều khi nghiên cứu về hiệu quả khai thác cảng biển, đặc biệt khi đánh giá sự hiệu quả này ở mức độ tương đối. Tuy nhiên, nghiên cứu trên chỉ dừng lại ở cơ sở lý thuyết để áp dụng phương pháp DEA vào lĩnh vực cảng biển mà không có ý nghĩa thực tiễn vì không có số liệu thực tế.

Wang, Song, Cullinane đã sử dụng phương pháp DEA với mô hình phát triển cụ thể hơn kết hợp với một phương pháp khác để nghiên cứu về hiệu quả khai thác của 57 cảng container trên thế giới vào năm 1999 [14]. Sự kết hợp này cho phép họ so sánh được sự thiếu hiệu quả khai thác tương đối của các cảng container thông qua tỷ lệ đầu vào và đầu ra. Nghiên cứu chỉ phân tích

Bảng 1. Một số nghiên cứu về hiệu quả khai thác cảng biển

| Tác giả | Dữ liệu nghiên cứu | Phương pháp nghiên cứu | Đầu vào | Đầu ra |
|-------------------------------------|--|--|---|---|
| <i>Roll and Hayuth (1993)</i> | 20 cảng biển trên thế giới | DEA | Nguồn vốn; Nguồn nhân lực; Sự đồng nhất của hàng hóa. | Số lượng tàu cập cảng; Số lượng hàng thông qua; Sự hài lòng của khách hàng; Mức độ dịch vụ. |
| <i>Wang, Song, Cullinane (2003)</i> | 57 cảng container trên thế giới vào năm 1999 | DEA với mô hình CCR; DEA với mô hình BCC. FDH | Tổng chiều dài cầu tàu; Diện tích bến cảng; Số lượng cầu bờ; Số lượng cầu bãi; Số lượng xe khung nâng. | Số lượng hàng thông qua. |
| <i>Lin and Tseng (2005)</i> | 27 cảng container quốc tế trong giai đoạn 1999-2002 | DEA với mô hình CCR; DEA với mô hình BCC; SFA với hàm sản xuất Cobb-Douglas; SFA với hàm sản xuất Translog | Số lượng cầu bờ; Chiều dài cầu tàu; Số lượng trang thiết bị xếp dỡ trong bãi; Diện tích khu vực bãi container. | Số lượng hàng thông qua hàng năm. |
| <i>Wang, Nguyen et al. (2021)</i> | 14 bến cảng Việt Nam giai đoạn 2015-2020 | DEA với mô hình Malmquist; DEA với mô hình đo lường Epsilon-based. | Tổng tài sản; Sự tin cậy; Chi phí vận hành; Vốn chủ sở hữu. | Doanh thu; Lợi nhuận ròng. |
| <i>Nguyen et al. (2021)</i> | 10 bến container khu vực miền Nam Việt Nam giai đoạn 2017-2019 | DEA với mô hình Malmquist; DEA đầu ra không mong đợi; DEA với mô hình Slack-based. | Tổng năng suất của cầu bờ; Số lượng cầu bờ trung bình phục vụ mỗi tàu; Chiều dài cầu tàu; Độ sâu trước cầu tàu. | Số lượng tàu cập cảng; Tổng lượng hàng xếp dỡ; Tổng thời gian phục vụ một tàu. |

Nguồn: Nghiên cứu của nhóm tác giả

dựa trên số liệu của một năm duy nhất nên kết quả có thể tồn tại sự nhận định một cách chủ quan.

Một nghiên cứu khác về hiệu quả khai thác của 27 cảng container quốc tế trong giai đoạn 1999-2002 cũng được sử dụng kết hợp phương pháp DEA cùng một phương pháp định lượng khác [11]. Nhờ vậy, các tác giả này có cách đánh giá sâu sắc hơn và xác định được rõ ràng nguyên nhân của sự thiếu hiệu quả. Phạm vi nghiên cứu này trên nhiều khu vực mà không tập trung vào một khu vực cụ thể nên không mang nhiều ý nghĩa thực tiễn đối với địa phương.

Đối với nghiên cứu của Wang, Nguyen et al., sự đánh giá hiệu quả khai thác 14 bến cảng giai đoạn 2015-2020 được tập trung thể hiện qua hai mô hình Malmquist và đo lường Epsilon-based của phương pháp DEA [12]. Theo đó, điểm đánh giá hiệu quả khai thác và hệ số tương quan được xác định rõ. Trong khi đó, Nguyen et al. sử dụng các mô hình khác của phương pháp DEA để không chỉ đánh giá tương đối hiệu quả khai thác mà còn phân tích tiềm năng phát triển của 10 bến container khu vực miền Nam Việt Nam [15]. Dù 02 nghiên cứu này đã thu hẹp phạm vi nghiên cứu nhưng vẫn còn khá rộng khi đề cập đến cả

nước Việt Nam hay miền Nam Việt Nam.

Do vậy, một nghiên cứu đủ lượng, đủ ý nghĩa với địa phương về hiệu quả khai thác bến cảng container là chưa tồn tại.

3. Phương pháp nghiên cứu

Với phương pháp phân tích bao dữ liệu DEA, hiệu quả khai thác của các bến cảng container được đánh giá bằng các các đơn vị ra quyết định, thông thường được biết đến với tên gọi tiếng Anh viết tắt là DMU (Decision Making Unit). Với sự kết hợp nhiều yếu tố đầu vào và đầu ra, phương pháp đo lường này là một trong những kỹ thuật tính toán không tham số được sử dụng phổ biến nhất để đánh giá hiệu quả sản xuất kinh doanh của các đơn vị ra quyết định.

Phương pháp phân tích bao dữ liệu DEA lần đầu được giới thiệu trong nghiên cứu của Charnes, Cooper, Rhodes [16]. Nó được biết đến với tên phổ biến là mô hình DEA CCR. Tiếp nối nghiên cứu thành công này, hai tác giả Charnes và Cooper xây dựng một mô hình mới cho phương pháp DEA với một nhà nghiên cứu khác là Banker. Mô hình mới này nổi tiếng trên toàn cầu với tên DEA BCC [17]. Cả hai mô hình này đều tập

trung đánh giá hiệu quả sản xuất kinh doanh của các đơn vị ra quyết định DMU nhưng kết quả có thể khác nhau vì hai mô hình phát triển theo khía cạnh khác nhau với các phương án khả thi độc lập. Điều này được mô tả trong hình dạng của đường giới hạn khả năng sản

xuất PPF (production possibility frontier) [18].

Trong bài nghiên cứu này, nhóm tác giả lựa chọn bộ dữ liệu đầu vào và đầu ra ban đầu trước khi sử dụng kiểm định hệ số tương quan Pearson để kiểm tra sự phù hợp của bộ dữ liệu và loại các yếu tố không đủ

Bảng 2. Thống kê mô tả dữ liệu đầu vào và đầu ra trong 07 năm

| Đặc điểm | Năm | X1 (m ²) | X2 (chiếc) | X3 (m) | X4 (m) | Y (nghìn TEU) |
|-------------------|------|----------------------|------------|--------|--------|---------------|
| Giá trị nhỏ nhất | 2016 | 0 | 0.0 | 0.00 | 0.0 | 0.0 |
| | 2017 | 0 | 0.0 | 0.00 | 0.0 | 0.0 |
| | 2018 | 40000 | 2.0 | 7.80 | 150.0 | 43.0 |
| | 2019 | 40000 | 2.0 | 7.80 | 150.0 | 9.0 |
| | 2020 | 40000 | 2.0 | 7.80 | 150.0 | 3.0 |
| | 2021 | 40000 | 2.0 | 7.80 | 150.0 | 0.0 |
| | 2022 | 40000 | 2.0 | 7.80 | 150.0 | 0.0 |
| Giá trị lớn nhất | 2016 | 510000 | 15.0 | 9.50 | 980.0 | 788.0 |
| | 2017 | 510000 | 15.0 | 9.50 | 980.0 | 891.0 |
| | 2018 | 562500 | 15.0 | 14.00 | 980.0 | 891.0 |
| | 2019 | 562500 | 15.0 | 14.00 | 980.0 | 1020.0 |
| | 2020 | 562500 | 15.0 | 14.00 | 980.0 | 971.0 |
| | 2021 | 562500 | 15.0 | 14.00 | 980.0 | 1066.0 |
| | 2022 | 562500 | 15.0 | 14.00 | 980.0 | 1054.0 |
| Giá trị bình quân | 2016 | 125645 | 4.5 | 7.56 | 332.5 | 281.4 |
| | 2017 | 125645 | 4.5 | 7.56 | 332.5 | 291.3 |
| | 2018 | 175812 | 5.4 | 9.06 | 411.8 | 314.9 |
| | 2019 | 175812 | 5.4 | 9.06 | 411.8 | 376.3 |
| | 2020 | 175812 | 5.4 | 9.06 | 411.8 | 342.3 |
| | 2021 | 175812 | 5.4 | 9.06 | 411.8 | 377.6 |
| | 2022 | 175812 | 5.4 | 9.06 | 411.8 | 419.8 |
| Độ lệch chuẩn | 2016 | 124614 | 3.8 | 3.12 | 279.1 | 214.2 |
| | 2017 | 124614 | 3.8 | 3.12 | 279.1 | 271.7 |
| | 2018 | 156539 | 3.6 | 1.48 | 262.0 | 253.3 |
| | 2019 | 156539 | 3.6 | 1.48 | 262.0 | 245.7 |
| | 2020 | 156539 | 3.6 | 1.48 | 262.0 | 266.9 |
| | 2021 | 156539 | 3.6 | 1.48 | 262.0 | 289.5 |
| | 2022 | 156539 | 3.6 | 1.48 | 262.0 | 310.2 |

Nguồn: Nghiên cứu của nhóm tác giả

Bảng 3. Kết quả hệ số tương quan Pearson giữa yếu tố đầu vào và đầu ra

| Năm | Y | X1 | Trị số P | X2 | Trị số P | X3 | Trị số P | X4 | Trị số P |
|------|----|--------|----------|--------|----------|--------|----------|--------|----------|
| 2016 | Y1 | 0.8126 | 0.0002 | 0.8093 | 0.0003 | 0.6320 | 0.0115 | 0.6978 | 0.0038 |
| 2017 | Y2 | 0.7886 | 0.0005 | 0.7494 | 0.0013 | 0.5388 | 0.0382 | 0.6865 | 0.0047 |
| 2018 | Y3 | 0.3422 | 0.2119 | 0.5363 | 0.0393 | 0.0046 | 0.9870 | 0.4892 | 0.0642 |
| 2019 | Y4 | 0.5049 | 0.0549 | 0.6259 | 0.0126 | 0.1684 | 0.5486 | 0.5891 | 0.0209 |
| 2020 | Y5 | 0.7974 | 0.0004 | 0.7919 | 0.0004 | 0.5375 | 0.0388 | 0.7608 | 0.0010 |
| 2021 | Y6 | 0.7926 | 0.0004 | 0.7982 | 0.0004 | 0.5127 | 0.0507 | 0.7583 | 0.0011 |
| 2022 | Y7 | 0.7256 | 0.0022 | 0.6934 | 0.0042 | 0.5851 | 0.022 | 0.6239 | 0.0129 |

Nguồn: Nghiên cứu của nhóm tác giả

điều kiện. Sau đó, nhóm tác giả sẽ tiến hành phương pháp phân tích bao dữ liệu DEA với cả hai mô hình CCR và BCC để phân tích so sánh hiệu quả khai thác của 15 bến cảng container đã chọn trong giai đoạn 2016-2022. Phương pháp nghiên cứu được thực hiện trên phần mềm R.

Phạm vi nghiên cứu chỉ xoay quanh các bến cảng container tại khu vực cảng biển Hải Phòng nên 15 bến

cảng container được chọn bao gồm các bến container còn đang khai thác tại khu vực này trong giai đoạn 07 năm gần nhất, trong đó bến Nam Đình Vũ (14), bến Tân Cảng - HICT (15) mới đi vào khai thác từ năm 2018 còn bến Nam Hải (1), bến Đoàn Xá (2), bến Transvina (3), bến Greenport (4), bến Chùa Vẽ (5), bến Tân Cảng 128 (6), bến Tân Cảng 189 (7), bến Hải An (8), bến Đình Vũ (9), bến PTSC Đình Vũ (10), bến

Bảng 4. Kết quả đánh giá hiệu quả khai thác của 15 cảng container khu vực Hải Phòng giai đoạn 07 năm

| Đơn vị | 2016 | | | | 2017 | | | | 2018 | | | | 2019 | | | |
|--------|--------------------|------|--------------------|------|--------------------|------|--------------------|------|--------------------|------|--------------------|------|--------------------|------|--------------------|------|
| | DEA _{CCR} | Hạng | DEA _{BCC} | Hạng | DEA _{CCR} | Hạng | DEA _{BCC} | Hạng | DEA _{CCR} | Hạng | DEA _{BCC} | Hạng | DEA _{CCR} | Hạng | DEA _{BCC} | Hạng |
| 1 | 1.0000 | 1 | 1.0000 | 1 | 0.3220 | 4 | 0.3220 | 4 | 0.4177 | 5 | 1.0000 | 1 | 1.0000 | 1 | 1.0000 | 1 |
| 2 | 0.9746 | 2 | 0.9746 | 3 | 0.2026 | 7 | 0.2026 | 7 | 0.1758 | 8 | 0.8864 | 5 | 0.9414 | 4 | 1.0000 | 1 |
| 3 | 0.7058 | 5 | 0.7058 | 5 | 0.2910 | 5 | 0.2911 | 5 | 0.3637 | 6 | 1.0000 | 1 | 0.0452 | 10 | 1.0000 | 1 |
| 4 | 1.0000 | 1 | 1.0000 | 1 | 1.0000 | 1 | 1.0000 | 1 | 1.0000 | 1 | 1.0000 | 1 | 1.0000 | 1 | 1.0000 | 1 |
| 5 | 0.3470 | 8 | 0.3470 | 8 | 0.2370 | 6 | 0.2371 | 6 | 0.4324 | 4 | 0.9286 | 3 | 0.4670 | 7 | 0.9404 | 5 |
| 6 | 0.3562 | 7 | 0.3562 | 7 | 0.4239 | 3 | 0.4239 | 3 | 0.2529 | 7 | 0.9512 | 2 | 0.2832 | 8 | 0.9512 | 4 |
| 7 | 0.5820 | 6 | 0.5820 | 6 | 0.6539 | 2 | 0.6539 | 2 | 0.5689 | 2 | 1.0000 | 1 | 0.6117 | 6 | 1.0000 | 1 |
| 8 | 1.0000 | 1 | 1.0000 | 1 | 1.0000 | 1 | 1.0000 | 1 | 1.0000 | 1 | 1.0000 | 1 | 1.0000 | 1 | 1.0000 | 1 |
| 9 | 1.0000 | 1 | 1.0000 | 1 | 1.0000 | 1 | 1.0000 | 1 | 1.0000 | 1 | 1.0000 | 1 | 0.9445 | 3 | 0.9536 | 3 |
| 10 | 1.0000 | 1 | 1.0000 | 1 | 1.0000 | 1 | 1.0000 | 1 | 1.0000 | 1 | 1.0000 | 1 | 1.0000 | 1 | 1.0000 | 1 |
| 11 | 1.0000 | 1 | 1.0000 | 1 | 1.0000 | 1 | 1.0000 | 1 | 1.0000 | 1 | 1.0000 | 1 | 1.0000 | 1 | 1.0000 | 1 |
| 12 | 0.9347 | 3 | 0.9758 | 2 | 1.0000 | 1 | 1.0000 | 1 | 1.0000 | 1 | 1.0000 | 1 | 0.9364 | 5 | 0.9664 | 2 |
| 13 | 0.8546 | 4 | 0.8546 | 4 | 1.0000 | 1 | 1.0000 | 1 | 1.0000 | 1 | 1.0000 | 1 | 1.0000 | 1 | 1.0000 | 1 |
| 14 | 0.0000 | 9 | 0.0000 | 9 | 0.0000 | 8 | 0.0000 | 8 | 0.5179 | 3 | 0.9281 | 4 | 0.9792 | 2 | 1.0000 | 1 |
| 15 | 0.0000 | 9 | 0.0000 | 9 | 0.0000 | 8 | 0.0000 | 8 | 0.0660 | 9 | 0.5571 | 6 | 0.2742 | 9 | 0.5594 | 6 |
| Đơn vị | 2020 | | | | 2021 | | | | 2022 | | | | | | | |
| | DEA _{CCR} | Hạng | DEA _{BCC} | Hạng | DEA _{CCR} | Hạng | DEA _{BCC} | Hạng | DEA _{CCR} | Hạng | DEA _{BCC} | Hạng | | | | |
| 1 | 0.4435 | 8 | 1.0000 | 1 | 0.4916 | 8 | 1.0000 | 1 | 1.0000 | 1 | 1.0000 | 1 | | | | |
| 2 | 0.0130 | 11 | 0.8864 | 7 | 0.0000 | 11 | 0.8864 | 7 | 0.0000 | 12 | 0.8864 | 7 | | | | |
| 3 | 0.0379 | 10 | 1.0000 | 1 | 0.0000 | 11 | 1.0000 | 1 | 0.0000 | 12 | 1.0000 | 1 | | | | |
| 4 | 1.0000 | 1 | 1.0000 | 1 | 1.0000 | 1 | 1.0000 | 1 | 0.7112 | 4 | 1.0000 | 1 | | | | |
| 5 | 0.5429 | 5 | 0.9539 | 3 | 0.5061 | 7 | 0.9442 | 5 | 0.3119 | 10 | 0.9286 | 4 | | | | |
| 6 | 0.2749 | 9 | 0.9512 | 4 | 0.3373 | 10 | 0.9512 | 4 | 0.3603 | 9 | 0.9512 | 3 | | | | |
| 7 | 0.5357 | 6 | 1.0000 | 1 | 0.4822 | 9 | 1.0000 | 1 | 0.2816 | 11 | 1.0000 | 1 | | | | |
| 8 | 1.0000 | 1 | 1.0000 | 1 | 1.0000 | 1 | 1.0000 | 1 | 0.9002 | 2 | 1.0000 | 1 | | | | |
| 9 | 0.8900 | 3 | 0.9308 | 6 | 0.9129 | 2 | 0.9376 | 6 | 0.7741 | 3 | 0.9167 | 5 | | | | |
| 10 | 1.0000 | 1 | 1.0000 | 1 | 0.8774 | 4 | 1.0000 | 1 | 0.4000 | 8 | 1.0000 | 1 | | | | |
| 11 | 1.0000 | 1 | 1.0000 | 1 | 1.0000 | 1 | 1.0000 | 1 | 1.0000 | 1 | 1.0000 | 1 | | | | |
| 12 | 0.9722 | 2 | 0.9799 | 2 | 0.8950 | 3 | 0.9515 | 3 | 0.7083 | 5 | 0.9089 | 6 | | | | |
| 13 | 1.0000 | 1 | 1.0000 | 1 | 1.0000 | 1 | 1.0000 | 1 | 1.0000 | 1 | 1.0000 | 1 | | | | |
| 14 | 0.5043 | 7 | 0.9389 | 5 | 0.6249 | 6 | 0.9582 | 2 | 0.5683 | 7 | 0.9652 | 2 | | | | |
| 15 | 0.7172 | 4 | 0.7592 | 8 | 0.6722 | 5 | 0.6885 | 8 | 0.6757 | 6 | 0.6769 | 8 | | | | |

Nguồn: Nghiên cứu của nhóm tác giả

Tân Vũ (11), bến Nam Hải Đình Vũ (12), bến VipGreen (13) đều đã đi vào hoạt động trước giai đoạn trên. Bộ số liệu phục vụ cho nghiên cứu về 15 bến cảng trong giai đoạn 2016-2022 là sự tổng hợp thông tin của nhóm tác giả trong quá trình đi thực tế, quan sát tại hiện trường cũng như thông qua các cuộc trao đổi trực tiếp với các cán bộ quản lý, công nhân viên của các doanh nghiệp cảng trong nhiều năm.

Căn cứ vào khung lý thuyết về hiệu quả khai thác cảng biển và các nghiên cứu nhóm tác giả tổng hợp trong Bảng 1, yếu tố đầu vào nhóm tác giả lựa chọn là diện tích bãi container (X1), số lượng cầu bờ (X2), độ sâu trước cầu tàu (X3) cùng chiều dài cầu tàu (X4) trong khi yếu tố đầu ra duy nhất là số lượng hàng hóa thông qua hàng năm (Y), đơn vị tính là nghìn TEU. Đây là các yếu tố phổ biến và được nhiều nhà nghiên cứu sử dụng khi thực hiện đánh giá hiệu quả khai thác tương đối của cảng biển hay bến container bằng phương pháp DEA. Bảng 2 cho thấy giá trị của các yếu tố đầu vào hầu như không thay đổi trong toàn giai đoạn trong khi sự dao động đáng kể xuất hiện ở giá trị đầu ra trong cả giá trị nhỏ nhất và lớn nhất khiến giá trị bình quân và độ lệch chuẩn của nó cũng biến động.

4. Kết quả nghiên cứu

Nhóm tác giả thực hiện kiểm định hệ số tương quan Pearson giữa 04 yếu tố đầu vào với yếu tố đầu ra với độ tin cậy 95% cho thấy trị số P của các biến hầu hết nhỏ hơn 0,0500 trong Bảng 3, tức các yếu tố có ý nghĩa thống kê. Tuy nhiên, kết quả kiểm định ở 02 năm 2018 và năm 2019 không như mong đợi khi trị số P gần như lớn hơn 0,0500, tức không mang ý nghĩa thống kê. Điều này cho biết không có mối tương quan tuyến tính giữa yếu tố diện tích bãi container (X1), độ sâu trước cầu tàu (X3) với số lượng hàng hóa thông qua hàng năm (Y) trong 02 năm này. Hơn nữa, Bảng 3 cũng thể hiện kết quả hệ số tương quan của các yếu tố đầu vào với yếu tố đầu ra trong 07 năm. Trong khi hệ số tương quan của yếu tố diện tích bãi container (X1) và yếu tố số lượng cầu bờ (X2) gần như lớn hơn 0,7000, cho thấy mối tương quan chặt chẽ thì 02 yếu tố còn lại chỉ cho thấy mối tương quan trung bình vì hệ số tương quan chỉ nằm trong khoảng 0,5000 và 0,7000. Các hệ số tương quan đều lớn hơn 0,0000 thể hiện các yếu tố đều có tương quan thuận. Nhìn chung, cả 04 yếu tố đều có tương quan tuyến tính thuận với yếu tố đầu ra nên nhóm tác giả quyết định lựa chọn cả 04 yếu tố đầu vào này để phân tích so sánh hiệu quả khai thác tương đối của 15 bến cảng container khu vực Hải Phòng.

Nhìn vào Bảng 4, có thể thấy rõ rằng kết quả phân tích so sánh hiệu quả khai thác trong 02 mô hình DEA

có sự khác biệt đáng kể kể từ năm 2018 trở về sau trong khi 02 năm đầu giai đoạn cho kết quả giống nhau. Kết quả phân tích so sánh tương đối này cũng chỉ ra rằng 03 bến cảng container, bến Greenport (4), bến Hải An (8), bến Tân Vũ (11), có hiệu quả khai thác cao nhất trong cả giai đoạn 07 năm đối với cả 02 mô hình DEA. Các bến cảng này gần được xếp hạng 1 trong toàn giai đoạn. Trong khi đó, hiệu quả khai thác được đánh giá tương đối thấp nhất và hầu như bị xếp hạng cuối trong giai đoạn 2016-2022 trong cả 02 mô hình DEA ghi nhận 02 bến cảng container, bến Đoạn Xá (2) và bến Tân Cảng - HICT (15).

Bên cạnh đó, xếp ở vị trí thứ 2, sau 03 bến container phía trên là bến Nam Hải Đình Vũ (12) vì hiệu quả khai thác gần như cao hơn so với các bến còn lại trong hầu hết các năm. Một điểm sáng đáng lưu ý khác là bến container VipGreen (13), bến này đã vươn lên từ vị trí số 4 lên vị trí số 1 cùng với 03 bến container có hiệu quả khai thác tương đối cao nhất sau năm 2016 trong cả 02 mô hình DEA.

5. Kết luận

Qua bài nghiên cứu này, nhóm tác giả đã khái quát một cách tổng quan nhất về sự phát triển khái niệm cảng biển cũng như tổng hợp các nghiên cứu liên quan đến hiệu quả khai thác cảng biển theo thời gian. Thêm nữa, nghiên cứu này tập trung phân tích so sánh hiệu quả khai thác tương đối của 15 bến cảng container khu vực Hải Phòng trong giai đoạn 07 năm từ 2016 đến 2022 thông qua phương pháp phân tích bao dữ liệu DEA với nhiều yếu tố đầu vào và đầu ra. Kết quả cho thấy 04 yếu tố diện tích bãi container, số lượng cầu bờ, độ sâu trước cầu tàu, chiều dài cầu tàu có ảnh hưởng đến số lượng hàng hóa thông qua hàng năm của một bến cảng container. Qua đó, nghiên cứu chỉ ra bến Greenport, bến Hải An, bến Tân Vũ có hiệu quả khai thác tương đối cao nhất trong giai đoạn 2016-2022, còn bến Đoạn Xá, bến Tân Cảng - HICT thì ngược lại.

Kết quả của nghiên cứu này là một sự đóng góp của nhóm tác giả tới các bài nghiên cứu liên quan đến hiệu quả khai thác cảng biển, đặc biệt là về cảng biển Việt Nam. Đây có thể là một cơ sở để các cấp quản lý thuộc Sở, Ban, Ngành liên quan đến cảng biển Hải Phòng tham khảo xây dựng, đề ra các chính sách phát triển, định hướng quy hoạch phù hợp với địa phương, đất nước trong thời kỳ tới. Tuy nhiên, nghiên cứu này vẫn còn hạn chế mà nhóm tác giả cần nhắc có thể ảnh hưởng đến kết quả phân tích so sánh hiệu quả khai thác cảng biển là số quan sát còn ít, dừng lại ở 15 bến cảng container trong thời gian 07 năm. Sự gia tăng số quan

sát sẽ đem lại các kết quả mang nhiều ý nghĩa hơn.

Lời cảm ơn

Nhóm tác giả xin chân thành cảm ơn các đơn vị, doanh nghiệp cảng đã cung cấp bộ dữ liệu cho nghiên cứu này.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Vietnam Seaports Association (2021), *Statistics 2021*. Available at: <http://www.vpa.org.vn/statistics-2021/> (Accessed: 26/11/2022).
- [2] Hlali, A. and Hammami, S. (2017), *Seaport concept and services characteristics: Theoretical test*, The Open transportation journal, Vol.11, pp.120-129.
- [3] Branch, A.E. (1986), *Elements of port operation and management*. New York: Chapman and Hall.
- [4] Bauchet, P. (1992), *Le transport maritime*. Paris: Economica.
- [5] Notteboom, T. and Rodrigue, J.P. (2005), *Port regionalization: Towards a new phase in port development*, The flagship journal of international shipping and port research, Vol.32, No.3, pp.297-313.
- [6] Talley, W.K. (2009), *Port economics*. New York: Routledge.
- [7] Steenken, D. et al. (2005), *Container terminal operation and operations research - a classification and literature review*, in Gunther, H.O., and Kim, K.H. (eds.), *Container terminals and automated transport systems*. Berlin: Springer-Verlag, pp.03-50.
- [8] Nguyễn Văn Khoàng (2005), *Tổ chức khai thác cảng*. Thành phố Hồ Chí Minh: NXB Đại học Giao thông vận tải.
- [9] Hà Minh Hiếu (2020), *Ảnh hưởng của đặc tính cảng đến hiệu quả khai thác cảng container tại Việt Nam*, Luận án Tiến sĩ kinh tế, Trường Đại học Kinh tế thành phố Hồ Chí Minh.
- [10] Wang, T., Cullinane, K.P.B., and Song, D.W. (2003), *The efficiency of container ports and terminals: Accessing the role of Data Envelopment Analysis as a measurement methodology*, in Lee, T.W. and Cullinane, K. (eds.), *Maritime Transport in Asia*, Ashgate Publishing, Aldershot, U.K. Forthcoming.
- [11] Lin, L.C. and Tseng, L.A. (2005), *Application of DEA and SFA on the measurement of operating efficiencies for 27 international container ports*, Proceedings of the Eastern Asia society for Transportation studies, Vol.5, pp.592-607.
- [12] Wang, C.N., Nguyen, N.A.T. et al. (2021), *Efficiency assessment of seaport terminal operators using DEA Malmquist and Epsilon-based measure models*, Axioms 2021, Vol.10, No.48, pp.01-19.
- [13] Roll, Y. and Hayuth, Y. (2006), *Port performance comparison applying data envelopment analysis (DEA)*, The flagship journal of international shipping and port research, Vol.20, Issue2, pp.153-161.
- [14] Wang, T.F., Song, D.W., Cullinane, K. (2003), *Container port production efficiency: a comparative study of DEA and FDH approaches*, Journal of the Eastern Asia society for transportation studies, Vol.5, pp.698-713.
- [15] Nguyen, T.L.H. et al. (2021), *An efficiency analysis of container terminals in Southern Vietnam using DEA dynamic efficiency evaluation*, The Asian journal of shipping and logistics, Vol.37, pp.329-336.
- [16] Charnes, A., Cooper, W.W., Rhodes, E. (1978), *Measuring the efficiency of decision making units*, European journal of operational research, Vol.2, Issue 6, pp.429-444.
- [17] Banker, R.D., Charnes, A., Cooper, W.W (1984), *Some models for estimating technical and scale inefficiencies in Data Envelopment Analysis*, Management science, Vol.30, No.9, pp.1031-1142.
- [18] Nguyễn Cảnh Lam, Quách Thị Hà (2021), *Đánh giá vai trò và hiệu quả khai thác hệ thống cảng cạn Việt Nam*, Tạp chí Nghiên cứu Kinh tế, Số 2 (513), tr.75-83.

| | |
|--------------------|------------|
| Ngày nhận bài: | 19/11/2022 |
| Ngày nhận bản sửa: | 27/12/2022 |
| Ngày duyệt đăng: | 09/01/2023 |

NGHIÊN CỨU THỰC TRẠNG CHUYỂN ĐỔI SỐ
Ở CÁC DOANH NGHIỆP VẬN TẢI BIỂN
STUDY ON THE STATUS OF DIGITAL TRANSFORMATION
IN SHIPPING COMPANIES

NGUYỄN MẠNH CƯỜNG, PHAN VĂN HƯNG*

Khoa Hàng hải, Trường Đại học Hàng hải Việt Nam

*Email liên hệ: phanvanhung@vamaru.edu.vn

Tóm tắt

Các công ty vận tải biển thúc đẩy số hóa vì tương lai của ngành hàng hải và nỗ lực thiết lập chiến lược của họ đã và đang được tiến hành. Việc xem xét các tầm nhìn và chiến lược đó liên quan đến số hóa sẽ có lợi để hiểu rõ hơn về con đường mà ngành hàng hải đang hướng tới. Nghiên cứu này nhằm mục đích xác định các đặc điểm của nhóm kế hoạch tương lai thông qua đánh giá định tính và đặc biệt tập trung vào các tác nhân thương mại hàng hải chính, dựa trên các kế hoạch hành động liên quan của các công ty vận tải biển đã được thu thập trực tuyến. Kết quả nổi bật của nghiên cứu này là các công ty vận tải biển lớn đã áp dụng số hóa để tăng hiệu quả chi phí, nâng cao khả năng cạnh tranh và đáp ứng nhu cầu của khách hàng.

Từ khóa: Doanh nghiệp vận tải biển, chuyển đổi số.

Abstract

Shipping companies drive digitization for the future of the maritime industry and their strategy-setting efforts are already underway. Considering those visions and strategies in relation to digitization will be beneficial to better understand the path the maritime industry is headed. This study aims to identify the characteristics of the future planning group through a qualitative assessment and specifically focuses on the main maritime trade actors, based on the relevant action plans of the companies. shipping companies were collected online. The outstanding result of this study is that major shipping companies have applied digitization to increase cost efficiency, improve competitiveness and meet customer needs.

Keywords: Shipping companies, Digital Transformation.

1. Giới thiệu

Cuộc “Cách mạng công nghiệp lần thứ tư”, còn được gọi là “Công nghiệp 4.0” là cách gọi rộng hơn, gắn liền với một số công nghệ tiên tiến. Các ví dụ tiêu biểu trong danh mục này là các ứng dụng tiên tiến như Trí tuệ nhân tạo (AI), Phân tích dữ liệu lớn (BDA), Điện toán đám mây và Internet vạn vật (IoT), vốn đã và đang ảnh hưởng đến ngành hàng hải. Một thực tế là có một số dự án đóng tàu tự hành, chẳng hạn như Yara Birkeland và Tàu không người lái tự hành (ASDS), chủ yếu dựa vào các công nghệ liên quan đến khái niệm Công nghiệp 4.0. Ngành Hàng hải đang chuyển đổi sang một mô hình hoạt động mới, thường được gọi là “vận tải biển trong kỷ nguyên số hóa”. Chuyển đổi số có thể được định nghĩa là quá trình định hình lại các mô hình hoạt động thông qua việc áp dụng các công nghệ kỹ thuật số với mục đích tạo ra sự thiết lập môi trường tổ chức, trong đó các khả năng mới về kỹ thuật số được kích hoạt và giá trị được tạo ra. Tích hợp và khai thác các công nghệ kỹ thuật số mới là một trong những thách thức lớn nhất mà các doanh nghiệp đang phải đối mặt. Vận tải biển là phương thức vận tải quan trọng trong thương mại quốc tế đang tiến tới số hóa và chuyển đổi số ở các tốc độ khác nhau trong phạm vi khác nhau. Vận tải biển là một phần của chuỗi vận tải đa phương thức, ảnh hưởng của nhiều yếu tố như biến động giá năng lượng, công nghệ chưa hoàn thiện và các quy định của Tổ chức Hàng hải quốc tế (International Maritime Organization - IMO) ngày càng tăng. Các tổ chức, cá nhân tham gia vào các hoạt động trong lĩnh vực vận tải biển, cũng như nhiều doanh nghiệp trong các ngành khác đang thiếu các kiến thức về chiến lược, cũng như các sáng kiến đúng đắn để thực hiện chuyển đổi số thành công [1], [2].

Các công ty vận tải biển thúc đẩy số hóa vì tương lai của ngành hàng hải và nỗ lực thiết lập chiến lược của họ đã và đang được tiến hành. Việc xem xét các tầm nhìn và chiến lược đó liên quan đến số hóa sẽ có lợi để hiểu rõ hơn về con đường mà ngành hàng hải đang hướng tới [2].

Vì vậy, trong nghiên cứu này tác giả sẽ đi xác định các đặc điểm của nhóm kế hoạch tương lai thông qua

đánh giá định tính và đặc biệt tập trung vào các tác nhân thương mại hàng hải chính, dựa trên các kế hoạch hành động liên quan của các công ty vận tải biển đã được thu thập trực tuyến. Kết quả nổi bật của nghiên cứu này là các công ty vận tải biển lớn đã áp dụng số hóa để tăng hiệu quả chi phí, nâng cao khả năng cạnh tranh và đáp ứng nhu cầu của khách hàng của họ. Bên cạnh đó, nghiên cứu này giúp các doanh nghiệp và các bên liên quan trong lĩnh vực hàng hải hiểu được khoảng cách kỹ thuật số trong ngành hàng hải và cung cấp các giải pháp để thu hẹp khoảng cách này. Nội dung nghiên cứu bao gồm các kế hoạch, chiến lược khác nhau của tổ chức hàng hải quốc tế và chính phủ để hỗ trợ các doanh nghiệp, cơ quan, đơn vị trong ngành hàng hải thực hiện số hóa.

2. Phương pháp nghiên cứu

Để làm sáng tỏ tầm nhìn chiến lược của các doanh nghiệp vận tải biển hàng đầu thế giới trong hai năm 2020 và 2021, các tác giả đã thực hiện các bước như sau. Trước tiên là tìm kiếm chiến lược của 10 doanh nghiệp vận tải biển hàng đầu trên internet trong năm 2020 và 2021. Theo đó kết quả có được 05/10 chiến lược doanh nghiệp. Căn cứ theo 10 công nghệ chuyển đổi số được phân tích theo xu hướng ngành hàng hải thế giới để phân tích mục tiêu, cách thức và lĩnh vực quan tâm của các doanh nghiệp. Kết hợp với phân đánh giá ngành hàng hải theo chuyển đổi số nói chung được phân tích dựa theo 128 tài liệu được tìm kiếm theo các từ khoá được trình bày trong Hình 1 dựa theo các nguồn như ISI, Scopus,... để đưa ra phân tích tầm

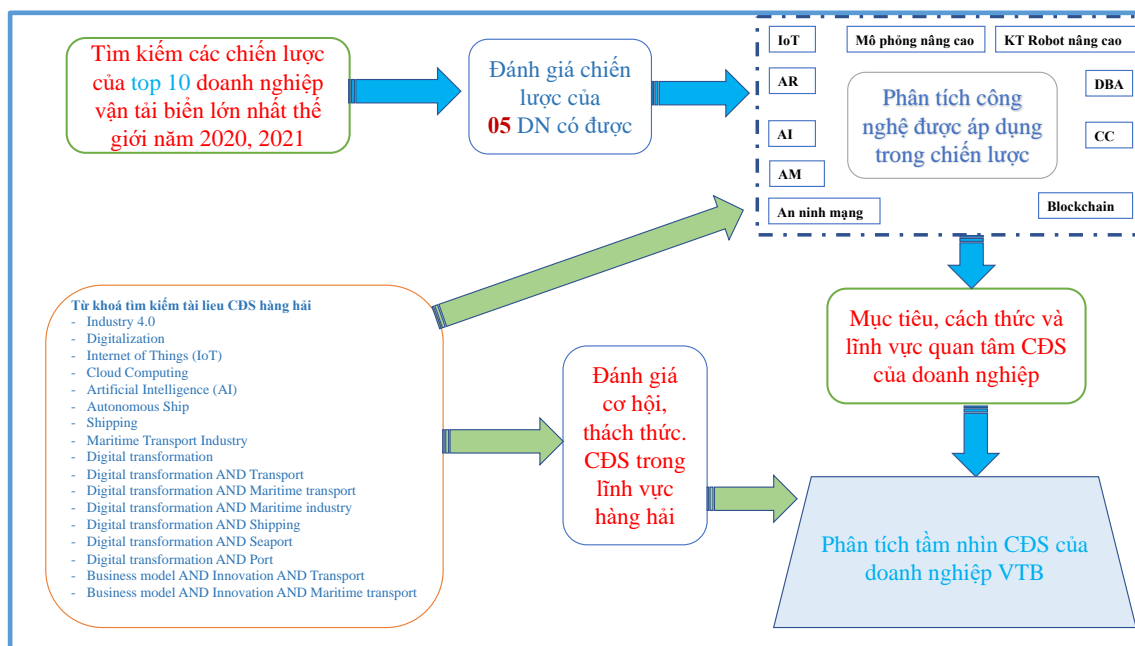
nhìn chuyển đổi số của doanh nghiệp vận tải biển.

3. Các công nghệ áp dụng chuyển đổi

Căn cứ theo kết quả nghiên cứu phân tích chiến lược của 05 doanh nghiệp vận tải biển hàng đầu năm 2020-2021 và 128 tài liệu về chuyển đổi ngành hàng hải, tác giả tóm tắt 10 công nghệ hỗ trợ chuyển đổi số thành công như sau:

(1) **AI** Các ứng dụng AI có thể được cung cấp bởi một hệ thống máy tính có thể học hỏi từ dữ liệu, nhận ra mối tương quan giữa các mẫu của tập dữ liệu cụ thể và cuối cùng quyết định hướng hành động với sự can thiệp hạn chế (hoặc thậm chí không có bất kỳ sự can thiệp nào) của con người. Công nghệ quan trọng để hiện thực hóa AI là các kỹ thuật học máy (ML), có thể tiến hành phân loại và /hoặc hồi quy các hệ thống phi tuyến tính. AI có thể được sử dụng để nhận biết tình hình xung quanh của tàu và hỗ trợ nhiều nhiệm vụ liên quan đến việc điều hướng, chẳng hạn như phát hiện các tàu khác hoặc chướng ngại vật trong vùng lân cận của tàu, hoặc điều động và tránh va chạm; hơn nữa, ứng dụng này là điều kiện tiên quyết cho “quyền tự chủ” của tàu thuyền, vì nó có thể tạo điều kiện thuận lợi cho việc xác định các tuyến đường và tốc độ tốt nhất trên các chuyến đi. AI cũng có thể được sử dụng để tối ưu hóa các hoạt động thương mại hoặc vận hành, chẳng hạn như lập kế hoạch tối ưu đội xe và giám sát tuân thủ liên quan đến các quy định môi trường.

(2) **Internet of Things (IoT)** có nghĩa là một mạng động trên toàn thế giới liên kết các đối tượng



Hình 1. Sơ đồ các bước thực hiện phương pháp nghiên cứu

vật lý và ảo được xác định duy nhất để giao tiếp, cấu hình và hoạt động. IoT cho phép giám sát kết nối và giám sát từ xa các thiết bị quan trọng trên bo mạch, từ đó nâng cao độ tin cậy và an toàn của hệ thống. Ngoài giám sát tàu, nó cũng cho phép theo dõi và giám sát các hoạt động hàng hóa.

(3) Phân tích dữ liệu lớn (BDA) là một cách xử lý một lượng lớn dữ liệu để tìm ra bất kỳ mô hình, mẫu hoặc câu trả lời hữu ích nào cho một câu hỏi. Dữ liệu liên quan đến thời tiết và tình trạng biển, vị trí của tàu, tốc độ và hải đồ điện tử có thể được AI đánh giá và điều này sẽ tăng cường an toàn hàng hải thông qua phát hiện bất thường và dự đoán nguy hiểm. BDA cũng đóng góp vào việc lập kế hoạch đội tàu tốt hơn (lập kế hoạch dịch vụ, phân bổ đội tàu và thuê tàu) cũng như tối ưu hóa hoạt động của tàu (hoạt động an toàn, hiệu quả năng lượng và quản lý lịch trình).

(4) Điện toán đám mây (CC) đề cập đến phần mềm trực tuyến có thể mở rộng, yêu cầu người dùng chỉ có các thiết bị có thể truy cập và trình duyệt web tiêu chuẩn mới sử dụng được. CC cung cấp: Tính linh hoạt lớn (mọi người có thể truy cập vào nền tảng mọi lúc mọi nơi); Nhanh hơn (công ty có thể cung cấp các dịch vụ mới trong thời gian ngắn nhất, giúp đáp ứng nhu cầu thay đổi nhanh chóng của khách hàng); Khả năng mở rộng (dễ dàng điều chỉnh tài nguyên máy tính theo môi trường kinh doanh và khả năng mở rộng cao giúp xử lý dữ liệu nhanh hơn). CC có thể là một lựa chọn kinh tế để phát triển một hệ thống so với mô hình tại chỗ thông thường, trong đó một công ty quản lý và duy trì máy chủ của riêng mình để triển khai một số dịch vụ nhất định.

(5) Bảo mật kỹ thuật số hoặc An ninh mạng là một thuật ngữ mô tả những nỗ lực cần thiết để bảo vệ tính toàn vẹn, tính bảo mật và khả năng truy cập của dữ liệu. Nó cần được tăng cường để ứng phó với kỹ thuật số hóa trong ngành hàng hải. Phân tích sâu hơn về thuật ngữ đó nằm ngoài phạm vi của bài báo này.

(6) Blockchain là một chuỗi các giao dịch, trong đó mỗi đơn vị của chuỗi được gọi là "khối" bao gồm một số giao dịch (không hoặc một giao dịch) và sự đồng thuận là chính xác và tự động hóa các giao dịch thương mại của các công ty vận tải biển; nó cho thấy thực tế là vận đơn đầu tiên sử dụng blockchain đã được phát hành vào năm 2018.

(7) Thực tế tăng cường (AR) đề cập đến lớp phủ thông tin về môi trường thực xung quanh; tương tự, Thực tế ảo (VR) là một đồ họa máy tính ba chiều (3D) của một môi trường mà người dùng có thể trải nghiệm

thông qua màn hình gắn trên đầu. VR cho phép thủy thủ đoàn thực hành các hoạt động trên tàu trước khi thực hiện chúng và làm mới các kỹ năng khẩn cấp, rủi ro cao hoặc hiếm khi được sử dụng. Ngoài ra, AR có thể hỗ trợ thuyền bộ trong việc nắm bắt các tình huống thông qua các hình ảnh hóa được tạo ra bởi máy tính. Hơn nữa, cả hai công nghệ này dự kiến sẽ góp phần cung cấp đào tạo "chất lượng tốt hơn", cùng với độ trung thực cao và chi phí liên quan rẻ hơn.

(8) Sản xuất tăng cường (AM) là đưa vật liệu vào quá trình sản xuất để tạo ra các đối tượng từ dữ liệu 3D. Dự kiến sẽ sử dụng AM để sản xuất các bộ phận của tàu hoặc thậm chí toàn bộ thân tàu. AM có thể góp phần vào việc vận chuyển xanh hơn khi các vật liệu phân hủy sinh học được sử dụng để sản xuất vỏ tàu cũng như giảm chi phí vận chuyển. Người ta cũng mong đợi rằng AM có thể tạo ra và cung cấp các phụ tùng tàu biển hiếm và có giá trị cao với giá rẻ hơn.

(9) Mô phỏng nâng cao là tạo ra một mô hình ảo dựa trên dữ liệu thời gian thực thu được bằng các kỹ thuật IoT (Digital twin). Trước khi tiến hành chuyển đổi vật lý, người vận hành, kỹ sư và nhà quản lý có thể kiểm tra chính xác môi trường ảo bằng cách sử dụng Mô phỏng nâng cao, có thể tăng chất lượng và giảm thời gian ngừng hoạt động và thời gian thiết lập của máy móc.

(10) Kỹ thuật rô bốt nâng cao đề cập đến sự hợp tác nâng cao giữa công nhân và rô bốt có tính linh hoạt cao để đối phó với nhiều nhiệm vụ khác nhau. Mặc dù những robot như vậy có thể có được tự chủ, nhưng chi phí để giới thiệu robot cũng dự kiến sẽ rẻ. Ứng dụng dự kiến trong ngành Vận tải biển là tàu tự hành và tự động hóa việc kiểm tra tàu và xếp hoặc dỡ hàng hóa.

4. Phân tích thực trạng chuyển đổi số ở các doanh nghiệp

4.1. Hyundai Merchant Marine (HMM)

HMM đã giải thích triết lý quản lý của mình trong tài liệu kinh doanh của họ, vì vậy việc thu thập dữ liệu liên quan chủ yếu dựa vào tài liệu này. Để chứng minh điều đó, công ty tập trung vào AI và IoT theo khâu hiệu trung và dài hạn "vận chuyển thông minh", có nghĩa là tăng khả năng cạnh tranh thông qua các con tàu thân thiện với môi trường, nguồn nhân lực phát triển cao và hệ thống công nghệ thông tin tiên tiến hàng đầu để cung cấp "dịch vụ thông minh" cho khách hàng [3]. Công ty cũng có kế hoạch cải thiện các dịch vụ công nghệ thông tin cho cả khách hàng bên ngoài và khách hàng nội bộ và phát triển môi trường làm việc kinh doanh dựa trên đám mây kết hợp với Oracle,

một gã khổng lồ công nghệ và Kakao, một công ty công nghệ thông tin tại Hàn Quốc. Công ty đang đưa ra lập luận rằng một hệ thống dựa trên đám mây như vậy có thể tiết kiệm tiền và cho phép giới thiệu các công nghệ mới, bao gồm tự động hóa quy trình robot, blockchain và BDA, góp phần đáp ứng những thay đổi trong môi trường kinh doanh và làm hài lòng khách hàng. Công ty cũng đã phát triển Trung tâm Kiểm soát đội tàu (FCC), cho phép theo dõi tình trạng tàu, điều kiện hàng hóa, tuyến đường và điều kiện thời tiết và biển từ bờ trong thời gian thực, góp phần xây dựng “tàu thông minh” và số hóa. Ngoài ra, công ty cam kết tăng cường bảo mật dữ liệu của mình, điều này cuối cùng sẽ góp phần vào khả năng cạnh tranh của công ty. Cuối cùng, khi nhận ra sự phức tạp của nhiệm vụ khi triển khai, công ty này đã thành lập một nhóm đặc biệt để tiếp cận và chuyển giao có hiệu quả các công nghệ tiên tiến [4-6].

4.2. Ocean Network Express (ONE)

ONE đã tiết lộ kế hoạch số hóa trong tài liệu giải thích của công ty cho các nhà đầu tư. Cần nhấn mạnh rằng mục tiêu của số hóa là cung cấp các dịch vụ có thể đáp ứng nhu cầu của khách hàng bằng BDA và khai thác sâu hơn các ứng dụng công nghệ thông tin khác nhau. Kế hoạch bao gồm ba lĩnh vực: Kênh thực hiện, các hoạt động và tài sản. Hai lĩnh vực đầu có liên quan đến thương mại điện tử, chẳng hạn như ước tính cước phí theo thời gian thực và tự động hóa các tác vụ lặp đi lặp lại thông qua việc sử dụng AI, ví dụ: Hoạt động cài đặt và ứng dụng giọng nói. Lĩnh vực sau cùng liên quan đến việc tối ưu hóa việc sử dụng tài sản, chẳng hạn như phân tích hoạt động bằng cách sử dụng dữ liệu từ tàu. Bên cạnh đó, kế hoạch đang được thảo luận giải thích rằng công ty sẽ thiết lập các dự án nghiên cứu chung để tập hợp tất cả các bên liên quan của chuỗi cung ứng trên một nền tảng. Ngoài ra, công ty sẽ chuẩn hóa dữ liệu và giao diện, an ninh mạng, quản lý container IoT và công nghệ blockchain, ngụ ý tiêu chuẩn hóa thông qua Hiệp hội Vận chuyển Container Kỹ thuật số (DCSA) [7]. Công ty giải thích rằng những nỗ lực như vậy để số hóa mang lại những thành quả đáng kể, bao gồm hiệu quả về chi phí, sự hài lòng của khách hàng và cải thiện chất lượng dịch vụ.

4.3. CMA CGM

Công ty này đã xuất bản một chiến lược phát triển bền vững và rõ ràng nó đã hướng đến việc số hóa trong tài liệu đó. Công ty phân loại hành động vì sự phát triển bền vững thành ba trụ cột: (1) Hành động vì Con người; (2) Hành động cho Hành tinh; và (3) Hành

động vì Thương mại có trách nhiệm, và số hóa được đề cập trong tất cả các trụ cột. Trong trụ cột đầu tiên (Con người), công ty cam kết giới thiệu một nền tảng kỹ thuật số mới, bao gồm cả việc sử dụng thực tế ảo để giáo dục và đào tạo nhân viên của mình. Trong trụ cột thứ hai, công ty cam kết đầu tư nhiều hơn vào nghiên cứu và phát triển các công nghệ thân thiện với môi trường thông qua đòn bẩy của AI và BDA. Trong trụ cột thứ ba (Thương mại có trách nhiệm), công ty cam kết sẽ quan tâm hơn và nắm bắt nhu cầu của khách hàng bằng cách đổi mới công nghệ, chuyển đổi kỹ thuật số và đổi mới thân thiện với môi trường. Như các khóa hành động cụ thể, công ty có kế hoạch hỗ trợ các công ty khởi nghiệp đổi mới sáng tạo [8].

4.4. HAPAG-LLOYD

Hapag-Lloyd ban hành “Hapag-Lloyd Strategy 2023 - Our journey starts now” vào năm 2018 và cam kết trong tài liệu này sẽ tiếp tục đầu tư vào số hóa để đơn giản hóa hoạt động vận chuyển và tối ưu hóa toàn bộ chuỗi cung ứng [9]. Công ty đã không đề cập đến từng chi tiết cần thiết, nhưng giám đốc Tiếp thị Kỹ thuật số của công ty, ông Jenny Grunner đã cung cấp thêm một số chi tiết về chiến lược trong tạp chí Tiếp thị B2B. Mặc dù cuộc phỏng vấn này chủ yếu tập trung vào các khía cạnh văn hóa của công ty để số hóa thay vì các công nghệ cụ thể, nhưng nội dung của cuộc phỏng vấn đang chỉ ra hướng mà công ty sẽ tận dụng nhiều dữ liệu hơn để tiến hành tiếp thị chính xác [10], với ngụ ý một giải pháp rất phù hợp có thể được cung cấp bằng cách tận dụng BDA.

4.5. EVERGREEN

Evergreen đã công khai các chiến lược hoạt động của mình trực tuyến. Liên quan đến số hóa, các tài liệu liên quan mới nhất giải thích rằng công ty sẽ nỗ lực tối ưu hóa chất lượng dịch vụ và nâng cao khả năng cạnh tranh thông qua công nghệ điện toán đám mây, nền tảng mạng và liên minh vận chuyển. Ngoài ra, công ty đã lên kế hoạch mở rộng nền tảng thương mại điện tử của mình để đáp ứng nhu cầu ngày càng tăng của khách hàng [11], [12].

5. Các giải pháp thích ứng với xu thế số hóa

Sự hợp tác với các công ty công nghệ thông tin, công ty khởi nghiệp và các bên liên quan, tiêu chuẩn hóa thông qua hợp tác với các bên liên quan, nghiên cứu chung với các bên liên quan và thay đổi văn hóa là yếu tố quan trọng. Do đó, nhiều công ty nhấn mạnh sự hợp tác với các tổ chức khác để đối phó với số hóa trong chiến lược của họ, nhưng các đơn vị được lựa chọn thì khác nhau. Công ty CMA CGM đã thành lập hoặc hợp

tác với các công ty khởi nghiệp công nghệ để nghiên cứu và giới thiệu các công nghệ tiên tiến vào mô hình kinh doanh của họ. Công ty HMM có kế hoạch hợp tác với một công ty công nghệ thông tin rất có ảnh hưởng (Oracle và Kakao). Chiến lược của ONE cũng đề cập đến các dự án nghiên cứu chung với các tổ chức khác. Những phát hiện này có thể là do trong xã hội hiện đại, sự phát triển đòi hỏi kiến thức bên ngoài công ty trong nhiều trường hợp, và các công ty khởi nghiệp có thể là nguồn tốt của kiến thức mới đó.

Hầu hết các công ty đề cập đến tích hợp kỹ thuật số. ONE có kế hoạch nghiên cứu các hệ thống có thể tập hợp tất cả các bên liên quan vào một nền tảng công nghệ. Hành động đáng chú ý của các hãng vận tải chính để tích hợp kỹ thuật số là việc thành lập Hiệp hội Vận chuyên Kỹ thuật số (DCSA) để hiện thực hóa các giải pháp công nghệ thông tin có thể tương tác trong toàn bộ chuỗi cung ứng thông qua tập hợp nền tảng công nghệ. Cụ thể, tổ chức này nhằm mục đích thiết lập các tiêu chuẩn trung lập về công nghệ và trung lập với nhà cung cấp cho công nghệ thông tin và các hoạt động kinh doanh không cạnh tranh, nhằm tăng trải nghiệm khách hàng, đổi mới và hiệu quả chi phí cao. Cuối cùng, một công ty đã nhấn mạnh tầm quan trọng của văn hóa công ty để thích ứng với xu thế số hóa. Cần phải thuyết phục quản lý cấp cao và những người lao động khác của công ty chấp nhận chuyển đổi kỹ thuật số, điều này đòi hỏi thời gian và thay đổi cấu trúc. Do đó, công ty đã giới thiệu một cấu trúc tối ưu, dẫn đến việc chia sẻ kiến thức nhanh hơn và ít người tham gia hơn giữa các nhóm. Công ty cũng thiết lập một hệ thống quản lý hiệu quả để theo dõi tiến độ của các đội nhóm. HMM giải thích trong chiến lược của mình rằng công ty cũng thành lập một bộ phận đặc biệt để tiến hành đổi mới. Tóm lại, nỗ lực của các công ty đối với tích hợp kỹ thuật số được tìm thấy trong các chiến lược của họ như một trong những biện pháp thúc đẩy quá trình số hóa, nhưng sự hợp tác với các nhà giao nhận hoặc sự thay đổi văn hóa không được quan sát rộng rãi. Tuy nhiên, một số ví dụ về sự hợp tác và thay đổi văn hóa có thể cho thấy tầm quan trọng của chúng.

Không có công ty nào đề cập đến chủ đề rộng lớn hơn về tàu tự hành, có thể được xem như một trong những ứng dụng của lĩnh vực robot và AI tiên tiến rộng hơn. Đây có thể là một dấu hiệu cho thấy rằng những công ty thương mại lớn này có thể không quan tâm đến một ứng dụng công nghệ rất cấp tiến như những con tàu đặc biệt; họ dường như quan tâm hơn đến việc sử dụng các công nghệ kỹ thuật số để tăng hiệu quả chi phí thông qua việc tối ưu hóa tài sản và

chuỗi dịch vụ tương ứng. Điều đáng nói là mặc dù bài báo này sẽ không trình bày thêm kế hoạch của Maersk (công ty vận tải biển lớn nhất thế giới) liên quan đến tàu tự hành, nhưng Giám đốc điều hành của công ty đã lập luận rằng sẽ không thể vận hành các tàu container dài 400m mà không có thuyền viên trên tàu ít nhất trong vòng đời khai thác và tàu tự hành sẽ không phải là động lực thúc đẩy hiệu quả. Nhận xét này phù hợp với giả định rằng tàu sẽ phát triển theo hai cách: Tàu tự hành và tàu thông minh. Vì các mô hình kinh doanh khác nhau có thể được yêu cầu đối với tàu tự động, các công ty vận tải biển lớn có thể chưa phù hợp loại tàu như vậy và họ không ưu tiên phát triển tàu tự hành trong chiến lược của mình. Thay vào đó, các tàu tự hành có thể được điều khiển bởi những hãng tàu mới, chẳng hạn như Yara và Space X, thay vì các công ty vận tải biển truyền thống. Mặt khác, tàu thông minh có thể “phù hợp hơn” đối với các công ty vận tải biển truyền thống, vì họ mở ra cơ hội tối ưu hóa hoạt động trên tàu và cung cấp thông tin kinh doanh có ý nghĩa, chẳng hạn như vị trí, tình trạng hàng hóa, góp phần vào chi phí hiệu quả và đáp ứng tốt hơn nhu cầu của khách hàng. Do đó, có thể nhận định rằng không có kế hoạch hành động nào đề cập đến tàu tự hành là ứng dụng của AI hoặc robot tiên tiến, chúng tôi giả định rằng những con tàu đặc biệt có thể được triển khai bởi những công ty mới bắt đầu do sự khác biệt của mô hình kinh doanh, điều này ngụ ý rằng nó có thể có lợi cho các công ty vận tải biển đầu tư nhiều hơn vào cải tiến công nghệ liên tục thông qua Công nghiệp 4.0 thay vì đổi mới căn bản.

Ngoài ra, nghiên cứu này cho thấy rằng không có công ty nào quan tâm đến mô phỏng nâng cao và AM và chỉ có một công ty liên quan đến yếu tố con người. Các tổ chức đặc thù có thể có yêu cầu phù hợp để sử dụng mô phỏng tiên tiến hơn là các công ty vận tải biển và có thể cần các tổ chức này thiết lập các chương trình kiểm tra cấp giấy chứng nhận phù hợp để đảm bảo chất lượng của các phụ tùng tàu do AM sản xuất. Tương tự như vậy, các Quốc gia có thể tổ chức đào tạo thuyền viên để sử dụng công nghệ kỹ thuật số. Để tiếp tục số hóa, các công ty vận chuyển cần sử dụng AM, mô phỏng nâng cao và thuê người có tay nghề cao, những người có thể tận dụng tối đa các công nghệ kỹ thuật số. Do đó, những vấn đề này nên được giải quyết dựa trên sự phối hợp của các cơ sở đào tạo, huấn luyện, cơ quan quản lý nhà nước chuyên ngành hàng hải và các tổ chức liên quan chứ không phải chỉ từ các công ty vận tải biển.

6. Kết luận

Số hóa trong Ngành Vận tải biển nên được coi là sự thay đổi trong cách thức hoạt động kinh doanh bằng cách giới thiệu các công nghệ tiên tiến của Công nghiệp 4.0, bao gồm AI, BDA, CC, IoT, An ninh số, AR/VR, Robot nâng cao, AM và mô phỏng nâng cao. Các doanh nghiệp vận tải biển hàng đầu (là tác nhân thương mại lớn) đó đã cố gắng thích ứng với xu thế số hóa để tăng khả năng cạnh tranh, nâng cao hiệu quả chi phí thông qua việc tối ưu hóa các hoạt động để đáp ứng nhu cầu của khách hàng. Một ví dụ điển hình là dịch vụ theo dõi hoạt động container đã được cung cấp. Các công ty vận tải biển liên quan cố gắng tích cực hợp tác với các công ty khác có quan hệ phù hợp hơn để tận dụng những công nghệ tiên tiến này. Có xu hướng đổi mới mở hơn, các công ty này cho rằng cần phải thiết lập các tiêu chuẩn trong ngành liên quan đến số hóa, do đó tận dụng tối đa tài nguyên để tích hợp kỹ thuật số giữa tất cả các bên liên quan trong chuỗi cung ứng. Thay đổi trong văn hóa doanh nghiệp, chẳng hạn như tăng cường sự linh hoạt là rất quan trọng để thích ứng với xu thế số hóa. Điểm này liên quan đến việc thúc đẩy một tương lai số hóa lành mạnh và thực tế như một hệ sinh thái cho Ngành Hàng hải.

Liên quan đến các lĩnh vực lợi ích, các công ty đặc biệt gắn bó với nhau trong các công nghệ liên quan đến việc sử dụng dữ liệu, chẳng hạn như AI, BDA và IoT. Tuy nhiên, không có công ty nào đề cập đến sự đổi mới triệt để, chẳng hạn như những con tàu đặc biệt trong chiến lược của họ. Điều này có thể là do mô hình kinh doanh khác nhau được yêu cầu cho các tàu tự hành và các công ty vận tải biển hiện tại không quá quan tâm đến lĩnh vực này. Thay vào đó, tàu tự hành có thể phù hợp nhất cho những công ty mới, chẳng hạn như Yara và Space X. Hiện tại, tàu thông minh có vẻ phù hợp hơn nhiều với các công ty đóng tàu truyền thống vì chúng có thể tối ưu hóa hoạt động trên tàu và thời gian hoạt động trên tàu với sức mạnh của thông tin có chất lượng tốt hơn, để tận hưởng lợi ích của hiệu quả chi phí và đáp ứng tốt hơn nhu cầu đa dạng và ngày càng tăng của khách hàng.

Lời cảm ơn

Nghiên cứu này được tài trợ bởi Trường Đại học Hàng hải Việt Nam trong đề tài mã số: **DT22-23.03**.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Aiello, G., Giallanza, A., & Mascarella, G. (2020). *Towards shipping 4.0. A preliminary gap analysis*. Procedia Manufacturing, Vol.42, pp.24-29. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.02.019>.
- [2] International Maritime Organization (2017). MSC 98/23/Add.1 Annex 10 Maritime Cyber Risk Management System in Safety Management System.
- [3] Chang-won, L. (2020). *HMM opens fleet control center for efficient operation of smart ships*. AJU Business Daily., Article. 2020. <https://www.ajudaily.com/view/20200923134517181>.
- [4] HMM. Connect value move the world. <http://hmmbrochure.com/files/brochure-eng.pdf>.
- [5] HMM to develop cloud-based, next-generation IT system. [https://www.maritimegateway.com/hmm-develop-cloud-based-next-generation-system/\(2019\)](https://www.maritimegateway.com/hmm-develop-cloud-based-next-generation-system/(2019)).
- [6] Business Korea. <http://www.businesskorea.co.kr/news/articleView.html?idxno=20828>
- [3] Balci, G. (2021a). *Digitalization in container shipping services: Critical resources for competitive advantage*. Journal of ETA Maritime Science, Vol.9(1), pp.3-12. <https://doi.org/10.4274/jems.2021.47364>.
- [5] Chen, Y. (2020). *IoT, cloud, big data and AI in interdisciplinary domains*. Simulation Modelling Practice and Theory, Vol.102. <https://doi.org/10.1016/j.simpat.2020.102070>.
- [6] CMA CGM (2021). 2020 CMA CGM sustainable development report. https://www.cmacgm-group.com/api/sites/default/files/2021-05/2020_CMAGM_CSR_Report_VUK_V3004_2021_VDEF-compress%C3%A9_compressed%201.pdf.
- [7] ONE (2019). Company information session. https://www.nyk.com/ir/news/2019/_icsFiles/fieldfile/2019/12/05/onemeeting_jp_1.pdf

- [8] CMA CGM (2021). 2020 CMA CGM sustainable development report.
https://www.cmacgm-group.com/api/sites/default/files/2021-05/2020_CMACGM_CSR_Report_VUK_V3004_2021_VDEF-compress%C3%A9_compressed%201.pdf.
- [9] Hapag-Lloyd (2018). Hapag-Lloyd Strategy 2023 - Our journey starts now.
https://www.hapag-lloyd.com/content/dam/website/downloads/pdf/Hapag-Lloyd_Strategy_2023_Our_journey_starts_now.pdf.
- [10] Gruner, J. (2021). *Digital transformation in shipping: The Hapag-Lloyd story*. In U. G. Seebacher (Ed.), B2B Marketing (pp.545-557). Springer.
https://doi.org/10.1007/978-3-030-54292-4_23.
- [11] Evergreen (2021). Operating Strategies.
https://csr.evergreen-marine.com/csr/jsp/CSR_OperatingStrategy.jsp.
- [12] Evergreen. (2019). Evergreen Marine Corp. 2019 Investor Conference.
<https://csr.evergreen-marine.com/csr/pdf/stakeholder-engagement/financial-reports/Presentation-en-2019.pdf?d=1625092505159>.

| | |
|--------------------|------------|
| Ngày nhận bài: | 24/11/2022 |
| Ngày nhận bản sửa: | 06/12/2022 |
| Ngày duyệt đăng: | 21/12/2022 |

TRIỂN VỌNG VÀ TÍNH KINH TẾ CỦA HỆ THỐNG TUA-BIN ĐIỆN GIÓ NỔI NGOÀI KHOI

PROSPECTS AND ECONOMICS OF FLOATING OFFSHORE WIND TURBINE SYSTEMS

PHẠM THỊ QUỲNH MAI*, NGUYỄN ĐẠI DƯƠNG

Khoa Kinh tế, Trường Đại học Hàng hải Việt Nam

*Email liên hệ: mai.kt@vamaru.edu.vn

Tóm tắt

Trong những năm gần đây, tua-bin điện gió nổi ngoài khơi (TĐGNNK) đang dần được quan tâm như một nguồn năng lượng tái tạo mới trong bối cảnh các tua-bin điện gió cố định ngoài khơi (TĐGCDNK) đang dần chạm tới ngưỡng giới hạn về độ sâu. Nhiều dự án đã được đề xuất cùng với sự gia tăng nhanh về số lượng lắp đặt TĐGNNK; tuy nhiên, khía cạnh kinh tế vẫn còn bỏ ngỏ là một vấn đề được nhiều người quan tâm. Để đưa ra những giải pháp khả thi nhằm tiết kiệm chi phí, bài báo thực hiện so sánh phân tích chi phí cào bằng điện (LCOE, Levelized Cost of Electricity) giữa TĐGCDNK và TĐGNNK ngoài khơi. Những phân tích tài liệu tham khảo cùng với bảng phân chia chi phí được sử dụng để phân tách các khoản chi phí vào các mục khác nhau trong mỗi cấp độ. Sau khi tìm hiểu các lợi thế giảm chi phí của TĐGNNK, triển vọng về LCOE được phân tích nhằm đưa ra cái nhìn tổng quan cho TĐGNNK trong những năm tiếp theo. Cuối cùng, một số những yếu tố ảnh hưởng tới chi phí, ví dụ như lợi thế về quy mô, công suất tua-bin, ... được đề cập và phân tích nhằm đưa ra những đề xuất giúp giảm thiểu chi phí cho TĐGNNK trong tương lai.

Từ khóa: Tua-bin điện gió nổi ngoài khơi, tua-bin điện gió cố định ngoài khơi, chi phí cào bằng điện.

Abstract

In recent years, floating offshore wind turbines (FOWT) have attracted more attention as a new renewable energy resource while bottom-fixed offshore wind turbines (BOWT) reach their limit of water depth. Various projects have been proposed with the rapid increase in installed floating wind power capacity, but the economic aspect remains as a biggest issue. To figure out sensible approaches for saving costs, a comparison analysis of the levelized cost of electricity (LCOE) between FOWT and BOWT

was carried out. A cost break-down and a literature review analysis were used to itemize the costs into its various components in each level.

After emphasizing the cost-reduction advantages of a FOWT, its LCOE outlook is provided to give a brief overview in the following years. Finally, some estimated cost drivers, such as economics of scale, wind turbine rating, etc are outlined as proposals for floating wind LCOE reduction.

Keywords: Floating offshore wind turbine, bottom-fixed offshore wind turbine, levelized cost of electricity.

1. Tổng quan tình hình nghiên cứu

Năng lượng xanh luôn là đề tài nóng trong những năm gần đây. Một trong những nguồn năng lượng sạch chính là năng lượng gió, một nguồn năng lượng dồi dào vô tận, có sự phát triển rất mạnh mẽ với 2 loại chính là điện gió trên bờ và điện gió ngoài khơi. Với lợi thế về địa lý, Việt Nam có rất nhiều tiềm năng để phát triển điện gió ngoài khơi. Thêm vào đó, Việt Nam cũng đã cam kết giảm phát thải khí các-bon về không vào mốc năm 2050. Do vậy, Việt Nam cũng đang hướng tới kế hoạch phát triển những dự án điện gió ngoài khơi trong tương lai gần, tuy nhiên mới chỉ dừng ở những dự án về điện gió cố định gần bờ (Nghị quyết số 55-NQ/TW về định hướng Chiến lược phát triển năng lượng quốc gia của Việt Nam đến năm 2030, tầm nhìn đến năm 2045, Dự thảo Quy hoạch điện VIII). Tiềm năng về điện gió xa bờ còn rất lớn, nhưng với hạn chế về công nghệ cũng như lợi thế về kinh tế giảm dần theo độ sâu của mực nước biển, điện gió cố định lại không thể trở thành phương án tối ưu lâu dài. Điện gió nổi ngoài khơi là một lĩnh vực nghiên cứu mới mẻ, cần được tìm hiểu và nghiên cứu sâu hơn, như một giải pháp thay thế cho hạn chế của điện gió cố định ngoài khơi. Một loạt những nghiên cứu về điện gió nổi ngoài khơi đã đưa ra những giới thiệu tổng quát về những dự án cũng như tiềm năng phát triển trong tương lai của dạng năng lượng này. Trong nghiên cứu của Beiter et.al.,(2017), ông và nhóm cộng sự đã đưa ra những đánh giá dựa trên mô hình chi phí

về LCOE để tiếp cận tiềm năng kinh tế của công nghệ điện gió ngoài khơi, bao gồm điện gió cố định và điện gió nổi tầm nhìn tới năm 2030. Kết quả chỉ ra rằng mặc dù điện gió nổi ngoài khơi vẫn là một công nghệ mới nhưng tới năm 2027, công nghệ này được dự đoán là sẽ phát triển đáng kể với tổng công suất gió chiếm 70% tổng công suất tài nguyên gió ngoài khơi trong vực tài nguyên kỹ thuật của Hoa Kỳ. Trong bài nghiên cứu của DNV-GL (công ty về cung cấp dịch vụ quản lý rủi ro của Bỉ), đã dự đoán rằng tổng công suất của điện gió nổi có thể đạt tới 250GW với chi phí giảm 70% vào năm 2050, và để đạt được điều này, thách thức hiện tại là cần chuyển nhanh sang các dự án thương mại của điện gió nổi. Ngoài ra, qua nghiên cứu phân tích chi phí thuộc chương trình Horizon2020 của Liên minh châu Âu (LIFE50+, dự án liên quan tới phát triển năng lượng điện gió nổi) có thể thấy được điện gió nổi có thể là một giải pháp cạnh tranh về chi phí so với điện gió cố định và các công nghệ khác. Tuy nhiên, tại Việt Nam những nghiên cứu về lĩnh vực này chưa nhiều do còn hạn chế về mặt công nghệ cũng như những vướng mắc trong chính sách phát triển các dự án đầu tư nước ngoài. Dù vậy, đây vẫn được coi là 1 lĩnh vực tiềm năng cần phát triển trong tương lai để tăng trưởng lâu dài và bền vững.

Bài nghiên cứu dưới dạng tổng hợp kiến thức về điện gió nổi ngoài khơi. Thông qua việc phân tích những tài liệu tham khảo cùng với phân tích bảng phân chia chi phí để tìm hiểu những thành phần chính trong chi phí LCOE của tua-bin điện gió nổi ngoài khơi để tìm ra những yếu tố tác động đến chi phí đó. Phạm vi nghiên cứu tập trung so sánh giữa 2 loại tua-bin điện gió ngoài khơi, dạng cố định và dạng phao nổi, trong khoảng thời gian từ khi dự án đầu tiên về tua-bin điện gió nổi được công bố trên thế giới cho tới nay.

2. Giới thiệu tổng quát về hệ thống tua-bin điện gió nổi ngoài khơi

Với ưu điểm về tốc độ gió nhanh hơn và ổn định hơn, sự phát triển của những trang trại điện gió ngoài khơi đã làm tăng nhanh thị phần của năng lượng gió ngoài khơi trong những năm trở lại đây. Đặc biệt, các trang trại gió cố định ngoài khơi hiện đang trở nên cạnh tranh hơn so với những trang trại cố định trên bờ do chi phí đã giảm đáng kể.

Theo một báo cáo khác của nhóm nghiên cứu tại Wind Europe, khoảng 80% tiềm năng của năng lượng gió ngoài khơi nằm ở khu vực nước có độ sâu hơn 60m. Con số này tương ứng với khoảng 4.000GW ở châu Âu, 2.450GW ở Mỹ và 500GW ở Nhật Bản. Với yêu cầu kết cấu nền lớn hơn cùng chất liệu thép cứng cáp hơn,

điều này sẽ đem lại bất lợi về kinh tế đối với tua-bin điện gió cố định ngoài khơi tại mực nước lớn hơn 60m. Do đó, mối quan tâm tới các tua-bin điện gió nổi ngoài khơi (TĐGNNK) đang tăng lên nhanh chóng như một giải pháp thay thế cho tiềm năng điện gió ngoài khơi chưa qua bàn tay khai thác của con người.

Điện gió nổi ngoài khơi (ĐGNNK) là phương pháp sản xuất điện thông qua tua-bin gió kết nối với phần phụ trợ đóng vai trò như một phao nổi, giúp tua-bin gió nổi trên mặt nước mà không cần cố định với đáy biển. Ý tưởng về ĐGNNK được nhen nhóm từ đầu những năm 2000 cho tới năm 2009 được giới thiệu với thế giới thông qua việc lắp đặt nguyên mẫu đầu tiên với tên gọi Hywind Demo, là một TĐGNNK có đường kính cánh quạt là 82,4m với công suất 2,3MW được thử nghiệm tại phía Đông nam của Karmoy, Na Uy ở trên mặt biển trong khu vực có độ sâu 220m. Với sự khởi đầu bằng Hywind Demo, cho tới nay, tổng công suất TĐGNNK được lắp đặt đã tăng nhanh chóng và đạt khoảng 124 MW vào năm 2020. Các dự án thí điểm của TĐGNNK đang được thực hiện và chạy thử chủ yếu tại các nước như Na Uy, Bồ Đào Nha, Anh, Pháp, Nhật Bản và Mỹ.

ĐGNNK không chỉ làm tăng tổng sản lượng năng lượng tái tạo tại các khu vực biển sâu mà còn giúp giảm thiểu suy thoái hệ sinh thái, giảm thiểu khiêu nại dân sự cũng như các vấn đề khác như tiếng ồn, do đó; xu hướng tập trung vào năng lượng gió đã lan ra toàn thế giới trong những năm gần đây.

Mặc dù có thể nhận thấy được những ưu điểm vượt trội đó của TĐGNNK, chúng vẫn là những khái niệm còn khá non trẻ so với những TĐGCĐNK, chính vì vậy, chúng vẫn khiến các nhà đầu tư hết sức lo ngại tính khả thi về mặt kinh tế. Trong bối cảnh đó, LCOE của TĐGNNK và TĐGCĐNK cần được phân tích để tìm hiểu tính khả thi về kinh tế. Thông qua đó, xác định các yếu tố chính ảnh hưởng tới chi phí của TĐGNNK để tiến hành đưa ra những giải pháp cải thiện.

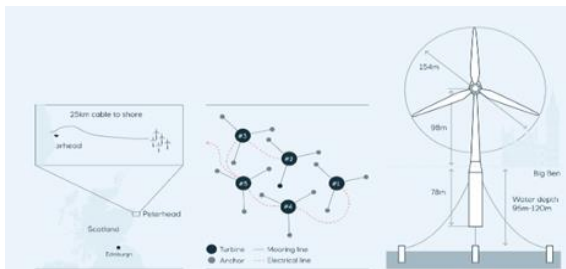
3. Khái quát về thị trường điện gió nổi hoàn toàn

Sau khi TĐGNNK đầu tiên trên thế giới, Hywind Demo được đưa vào vận hành năm 2009, tổng công suất lắp đặt của TĐGNNK đã tăng đều đặn lên tới 124MW vào đầu năm 2020, với 90% được lắp đặt tại châu Âu. Mỹ, Nhật Bản và Hàn Quốc đang chuẩn bị thực hiện một số dự án thử nghiệm và đẩy nhanh sự phát triển của TĐGNNK vào những năm đầu của thập kỷ 2020 (theo Bảng 1). Theo báo cáo của IRENA năm 2019, việc lắp đặt TĐGNNK được dự báo sẽ đạt 10-30 (GW) vào năm 2030 và lên tới 250GW vào năm 2050.

Bảng 1. Một số dự án trang trại điện gió nổi ngoài khơi dự kiến đi vào hoạt động vào năm 2022

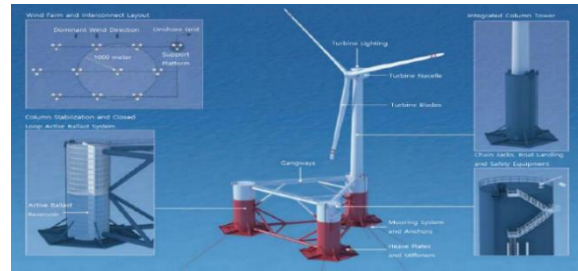
| Tên dự án | Quốc gia | Tổng công suất [công suất tua-bin] | Năm hoàn thành |
|---------------------|------------|------------------------------------|-----------------------|
| Hywind Scotland | Anh | 30 MW [6 MW × 5] | 2017 (đang hoạt động) |
| Wind Float Atlantic | Bồ Đào Nha | 25 MW [8,3 MW × 3] | 2020 (đang hoạt động) |
| Kincardine | Anh | 50 MW [2 MW × 1, 96 MW × 5] | 2021 |
| Groix and Belle-Ile | Pháp | 28,5 MW [9,5 MW × 3] | 2021/2022 |
| EFGL | Pháp | 30 MW [10 MW × 3] | 2021/2022 |
| EolMed | Pháp | 30 MW [10 MW × 3] | 2021/2022 |
| PGL wind farm | Pháp | 25,2 MW [8,4 MW × 3] | 2021/2022 |
| Goto City | Nhật Bản | 22 MW [2MW × 1, 5 MW × 4] | 2021/2022 |
| Hywind Tampen | Na Uy | 88 MW [8 MW × 11] | 2021/2022 |

Nguồn: Nhóm Tác giả tổng hợp



Nguồn: Equinor

Hình 1. Mô hình Hywind Scotland



Nguồn: PPI

Hình 2. Mô hình WindFloat Atlantic (PPI)

Trong số các dự án thử nghiệm về TĐGNNK trên thế giới, dự án Hywind của Equinor (công ty dầu khí đa quốc gia của Na Uy) và dự án WindFloat của PPI (công ty Principle Power của Bồ Đào Nha) được coi là hai dự án tiên phong nhất. Sau thành công của Hywind Demo năm 2009, Equinor đã xây dựng một trang trại thí điểm có tên là Hywind Scotland, trang trại TĐGNNK đầu tiên trên thế giới (theo Hình 1). Hywind Scotland được trang bị 5 tua-bin điện gió có công suất 6MW gắn trên phao nổi tại vùng nước có độ sâu 95-120m, bắt đầu đi vào hoạt động từ tháng 10 năm 2017. PPI đã lắp đặt một tua-bin điện gió có công suất 2MW trên loại phao nổi kiểu bán chìm (semi-submersible), được gọi là dự án WindFloat 1 vào năm 2011. Việc hoàn thành thành công dự án đã mở đường cho sự phát triển của trang trại TĐGNNK, dự án WindFloat Atlantic (theo Hình 2). Đó là một trang trại TĐGNNK nằm cách bờ biển Bồ Đào Nha 20km và được đưa vào vận hành từ cuối năm 2020. Dự án được coi là trang trại TĐGNNK với loại phao bán chìm đầu tiên trên thế giới bao gồm 3 tua-bin điện gió với công suất 8,4MW.

Trong 5 năm đầu hoạt động, theo ghi nhận của bên khai thác, WindFloat 1 đã tạo ra hơn 11GWh sản lượng điện với hệ số công suất trung bình trong 5 năm là 47%, tua-bin gió đã chịu được độ cao sóng cực đại thực tế là 18m và không có thiệt hại về cấu trúc nào được báo cáo. Hywind Demo đã chịu được độ cao sóng cực đại lên tới 19m, sản xuất khoảng 55GWh sản lượng điện với hệ số công suất trung bình hàng năm khoảng 50% vào năm 2011. Sau khi đi vào hoạt động năm 2017, trang trại Hywind Scotland đã ghi nhận hệ số công suất lên tới 65% trong ba tháng đầu tiên hoạt động và hệ số trung bình là 56% trong hai năm đầu hoạt động. Với hệ số công suất lớn như vậy, TĐGNNK đã thể hiện được sức cạnh tranh mạnh mẽ so với TĐGCĐNK có hệ số công suất nhỏ hơn 40%.

4. Chi phí LCOE của điện gió nổi ngoài khơi

Tính kinh tế của các nguồn năng lượng được đánh giá thông qua LCOE, chi phí cào bằng điện, là chi phí sản xuất điện năng trung bình trong suốt thời gian hoạt động của máy phát điện và có nghĩa là chi phí phát điện trung bình thực tế (USD) trên một đơn vị điện

năng (kWh) do một nhà máy điện sản xuất. LCOE được tính bằng tỷ số giữa giá trị hiện tại của tổng chi phí của máy phát điện và giá trị hiện tại của tổng lượng điện được tạo ra, được biểu thị bằng công thức số sau:

$$LCOE = \frac{\sum_{t=1}^n \frac{C_t}{(1+i)^t}}{\sum_{t=1}^n \frac{Q_t}{(1+i)^t}}$$

Trong đó C_t là tổng chi phí sản xuất điện năng trong năm t , Q_t là tổng sản lượng điện năng sản xuất trong năm t , i là tỷ lệ chiết khấu và n là số năm hoạt động của nhà máy phát điện.

4.1. Chi phí vốn

Chi phí liên quan tới tua-bin điện gió bao gồm chi phí vốn, chi phí nhiên liệu, chi phí vận hành-bảo trì và chi phí thị trường về phát thải khí nhà kính (GHG). Đối với năng lượng tái tạo như tua-bin điện gió, chi cần tính đến chi phí vốn và chi phí vận hành-bảo trì vì chi phí nhiên liệu và chi phí về phát thải khí nhà kính không phát sinh.

Bảng 2 cho ta thấy các thành phần chính của chi phí vốn thông qua phân tích một số tài liệu tham khảo.

Bảng 2 Thành phần chính của chi phí vốn tua-bin điện gió ngoài khơi dựa theo các tài liệu tham khảo

| Nghiên cứu | TĐGCĐNK | TĐGNKK | Ghi chú |
|-------------------------|------------------------|------------------------|--|
| Harries and Grace, 2015 | CP phát triển: 4% | CP phát triển: 2% | Dựa trên số liệu năm 2015 của TĐGCĐNK |
| | CP tua-bin: 45% | CP tua-bin: 21% | |
| Gabriela et al., 2016 | CP phần phụ trợ: 33% | CP phần phụ trợ: 73% | Dựa trên số liệu năm 2020 của TĐGNKK |
| | CP lắp đặt: 18% | CP lắp đặt: 4% | |
| Tyler et al., 2019 | CP phát triển: 4% | CP phát triển: 4,8% | Dựa trên giả định về CP của tua-bin cấp 10 MW |
| | CP tua-bin: 39% | CP tua-bin: 37,6% | |
| Lerch, 2019 | CP phần phụ trợ: 31% | CP phần phụ trợ: 44,5% | Dựa trên giả định về CP của trang trại 600 MW với 10 tua-bin |
| | CP lắp đặt: 26% | CP lắp đặt: 13,1% | |
| Tyler et al., 2019 | CP phát triển: 5,1% | CP phát triển: 4,7% | Dựa trên giả định về CP của trang trại 600 MW với 10 tua-bin |
| | CP tua-bin: 31,9% | CP tua-bin: 24,4% | |
| Lerch, 2019 | CP phần phụ trợ: 40,9% | CP phần phụ trợ: 47,1% | Dựa trên TĐGCĐNK 4,14 MW |
| | CP lắp đặt: 22,1% | CP lắp đặt: 23,8% | |
| Lerch, 2019 | CP phát triển: 5% | CP phát triển: 5% | Dựa trên TĐGNKK 10 MW |
| | CP tua-bin: 40% | CP tua-bin: 39% | |
| Lerch, 2019 | CP phần phụ trợ: 31% | CP phần phụ trợ: 50% | Dựa trên TĐGNKK 10 MW |
| | CP lắp đặt: 25% | CP lắp đặt: 6% | |

Nguồn: Nhóm Tác giả tổng hợp

Bảng 3 Đặc điểm của các dạng phao nổi

| Mục/dạng phao nổi | Phao nổi dạng cột | Phao nổi bán chìm | Phao nổi TLP |
|--|-------------------|-------------------|--------------|
| Trọng lượng | Nặng | Nặng | Nhẹ |
| Độ nhạy với sóng biển | Thấp | Cao | Thấp |
| Phương pháp duy trì ổn định | Nước dẫn | Lực đẩy nổi | Dây neo |
| Mức độ phức tạp chế tạo(MCF) ¹⁾ | 120% | 200% | 130% |
| Độ sâu mực nước | > 100 m | > 50 m | > 50 m |

1) MCF: Mức độ phức tạp chế tạo tương đối so với móng monopile, móng cơ bản nhất của TĐGCĐNK

Nguồn: Jung and Lee (2020)

tâm nghiên cứu và cải tiến công nghệ của Anh (ORE Catapult) năm 2019, đối với trường hợp tua-bin gió không hộp số tăng công suất từ 5MW lên 10MW thì chi phí máy phát điện tăng gấp đôi.

Chi phí phần phụ trợ bao gồm phao nổi của tua-bin điện gió, hệ thống neo và cáp kết nối. Từ trước cho tới nay đã có hơn 40 khái niệm về phao nổi được đưa ra, nhưng có thể tổng kết chung lại thành ba loại chính: phao nổi dạng cột (spar), phao nổi bán chìm (semi-submersible) và phao nổi giàn chân căng (tension leg platform, TLP). Phao nổi dạng cột có cấu trúc ổn định bằng dầm với mớn nước lớn thích hợp cho vùng nước sâu. TLP là một cấu trúc ổn định bằng sức căng do sử dụng dây chằng, do đó, bề mặt đáy biển cần đủ cứng để lắp đặt và chi phí lắp đặt cũng từ đó tăng theo độ sâu của nước. Đối với phao nổi bán chìm, với kết cấu ổn định dây neo, nó phù hợp với vùng nước từ nông đến sâu (theo Bảng 3).

Theo cơ sở dữ liệu của Hội đồng Năng lượng gió Toàn cầu (GWEC), vào cuối năm 2020, 67% TĐGNNK trên thị trường sử dụng dạng phao nổi bán chìm. Mặc dù phao nổi dạng cột và TLP có thể làm giảm chi phí chế tạo do trọng lượng nhẹ hơn, nhưng các quy trình vận chuyển, lắp đặt phức tạp hơn so với dạng phao nổi bán chìm. Ngược lại, phao nổi bán chìm tuy cần quy trình sản xuất phức tạp hơn và cần nhiều thép hơn nhưng lại có ưu điểm như dễ vận chuyển và lắp đặt.

Các TĐGCĐNK và TĐGNNK có sự khác biệt cơ bản về chi phí phần phụ trợ. Với thiết kế phần phụ trợ đơn giản nên chi phí tua-bin chiếm tỷ trọng lớn nhất trong tổng chi phí sản xuất TĐGCĐNK. Nói cách khác, việc ứng dụng thiết kế nền tảng của tua-bin điện gió trên bờ có thể được áp dụng lại cho thiết kế của TĐGCĐNK. Ngược lại, vì tốn rất nhiều chi phí để thiết kế và xây dựng kết cấu phao nổi, nên hầu hết các tài liệu tham khảo đều ước tính chi phí phần phụ trợ của TĐGNNK chiếm tỷ trọng lớn hơn. Ví dụ, theo kết quả nghiên cứu của Phòng thí nghiệm Năng lượng tái tạo Quốc gia Mỹ (NREL), dựa trên một tua-bin gió công suất 6MW, sự khác biệt giữa chi phí tua-bin và chi phí phần phụ trợ của TĐGCĐNK là khoảng 9%, nhưng tỷ lệ này ở TĐGNNK lại lên tới 22,7% (theo Bảng 2). Nguyên nhân của điều này là do phần phao nổi của tua-bin điện gió chiếm tỷ trọng lớn trong chi phí phần phụ trợ. Khi công nghệ về kết cấu phao nổi phát triển về thiết kế và sản xuất thì chi phí này được dự kiến sẽ giảm nhiều.

Chi phí vận chuyển - lắp đặt bao gồm chi phí vận chuyển, chi phí lắp đặt và chi phí ngừng vận hành. Chi

phí vận chuyển - lắp đặt chủ yếu phụ thuộc vào loại kết cấu phao nổi. Dạng phao nổi bán chìm được lắp ráp trên mặt đất hoặc tại xưởng đóng tại bờ biển và được kéo tới vị trí lắp đặt ngoài khơi nên quá trình lắp đặt đơn giản hơn và do đó chi phí vận chuyển-lắp đặt của dạng phao nổi này cạnh tranh hơn so với các dạng phao nổi khác. Phao nổi dạng cột cần được kéo một khoảng cách nhất định tới nơi có đủ độ sâu mực nước để dựng đứng và làm nổi bằng nước dầm. Sau đó các cấu trúc bên trên của tua-bin từng bước được lắp ghép và sẽ được lai dắt tới địa điểm lắp đặt chính thức. Đối với phao nổi dạng TLP, có nhiều cách để lắp ráp như có thể được lắp ráp trên bờ và được lai dắt bằng tàu kéo hoặc được vận chuyển bằng thiết bị nổi đặc biệt tới địa điểm lắp đặt. Vì vậy, khác với TĐGCĐNK, trong quá trình lắp đặt không nhất thiết phải sử dụng tàu thao tác tự nâng hạ trên biển. Chi phí thuê tàu thao tác tự nâng hạ trên biển 1 ngày khoảng 182.625USD¹ trong khi đối với tàu kéo chỉ khoảng 36.525USD một ngày, tiết kiệm được gấp 5 lần chi phí.

4.2. Chi phí vận hành và bảo trì

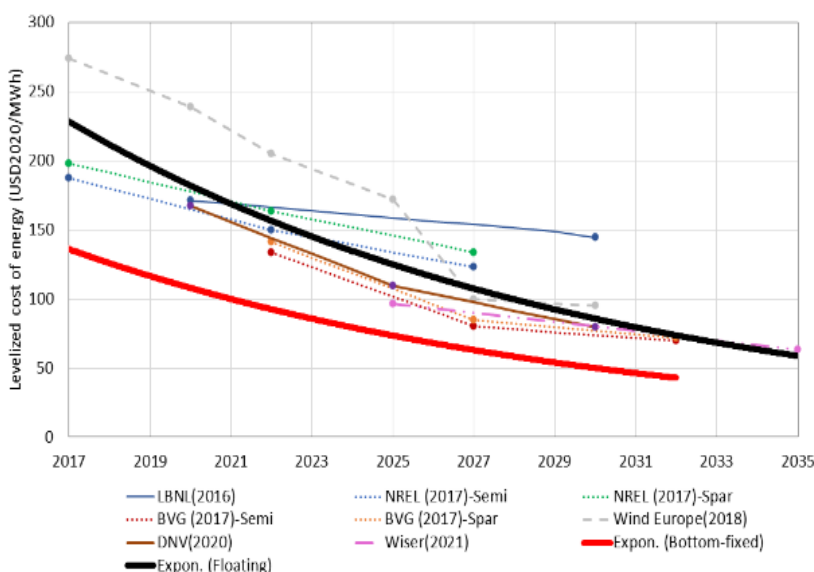
Chi phí vận hành và bảo trì là cần thiết để vận hành và bảo trì tua-bin điện gió trong suốt quá trình hoạt động của nó. Chi phí này chủ yếu được phân loại thành chi phí vận hành và chi phí bảo trì. Tỷ trọng phần chi phí này khá tương đồng giữa TĐGCĐNK và TĐGNNK, chiếm khoảng 22-34% của LCOE. Chi phí bảo trì chiếm tỷ trọng lớn trong khoản chi phí vận hành và bảo trì. Được biết, do hệ thống bánh răng phức tạp chi phí bảo dưỡng của tua-bin loại có hộp số cao hơn chi phí bảo dưỡng của tua-bin loại không có hộp số (loại tua-bin chỉ có máy phát điện nối trực tiếp với trục quay rô-tơ). TĐGNNK dạng phao bán chìm có thể được lai dắt trở lại bãi sửa chữa gần bờ bất cứ khi nào để bảo trì, do đó, nó có lợi thế hơn so với loại TĐGCĐNK.

4.3. Một số giải pháp giảm thiểu chi phí cho sản xuất năng lượng gió ngoài khơi

Hình 3 cho ta thấy LCOE được dự đoán của các TĐGCĐNK và TĐGNNK thông qua nhiều tài liệu tham khảo. Các đường liền nét dày màu đỏ và đen lần lượt là các đường xu hướng của TĐGCĐNK và TĐGNNK. Đường màu đen giảm nhanh hơn đường màu đỏ, điều này cho thấy LCOE của các TĐGNNK có khả năng giảm nhanh hơn TĐGCĐNK trong tương lai.

Mặc dù dữ liệu chỉ dựa trên một số dự án thí điểm, nhưng LCOE của TĐGNNK rơi vào khoảng 180-275 (USD/MWh), gần gấp đôi so với TĐGCĐNK vào thời

¹ Tỷ giá chuyển đổi 1.0 £ = 1.21750 USD



Nguồn: Nhóm Tác giả tổng hợp

Hình 3. LCOE dự báo của TĐGNNK so sánh với TĐGCĐNK

điểm năm 2017. LCOE của các TĐGNNK dự kiến sẽ giảm còn 135-175 (USD/MWh) sau năm 2022 và thậm chí sẽ còn giảm xuống khoảng 60USD/MWh vào năm 2035, gần như loại bỏ sự khác biệt về LCOE với TĐGCĐNK.

Có nhiều yếu tố ảnh hưởng tới chi phí của TĐGNNK như quy mô phát triển, công suất của tua-bin, chi phí phân phụ trợ hay chi phí hòa vào lưới điện,... Ví dụ, so với một dự án thí điểm, chi phí vốn của dự án có quy mô thương mại giảm đáng kể. Một tổ chức của Anh, Carbon Trust ước tính rằng chi phí vốn của trang trại điện gió ngoài khơi có thể giảm tới 48% khi mở rộng quy mô từ một dự án thử nghiệm sang dự án trang trại thương mại lớn. Equinor cũng báo cáo rằng chi phí vốn của trang trại TĐGNNK đầu tiên trên thế giới Hywind Scotland đã giảm 60-70% so với dự án thử nghiệm ban đầu Hywind Demo.

Sự tiết kiệm chi phí lớn nhất cho các dự án trang trại điện gió ngoài khơi chính là ở kích thước của tua-bin. Công suất của tua-bin đang ngày càng tăng nhưng cũng cần phát triển công nghệ hỗ trợ để lắp đặt. Lĩnh vực điện gió ngoài khơi đang ở thời điểm chuyển tiếp do cần phát triển các cần trục và tàu mới để chịu được các yêu cầu về độ cao, tầm với cũng như sức nâng của các cấu trúc này, có thể ảnh hưởng tới sự phát triển của tua-bin. Tuy nhiên, thị trường tua-bin gió tiếp tục mở rộng và công nghệ thiết kế, chế tạo các tua-bin điện gió lớn càng ngày càng phát triển. Tính đến năm 2021, các tua-bin 9,6MW đã được sử dụng trong trang trại TĐGNNK (dự án WindFloat Kincadine), và người

ta cho rằng các tua-bin điện gió công suất 15MW sẽ được sử dụng từ năm 2030 và các tua-bin điện gió 20MW sẽ được sử dụng từ năm 2037 tại Anh.

Hiện nay, tuy hầu hết các tua-bin điện gió ngoài khơi được cải tạo lại từ tua-bin trên bờ, nhưng cần phát triển tua-bin chuyên biệt dành cho các tua-bin điện gió ngoài khơi, đặc biệt là TĐGNNK. Phần đông các tua-bin trên thị trường hiện nay có hộp số, nhưng các hộp số này yêu cầu chi phí bảo trì cao hơn so với tua-bin không có hộp số. Các tua-bin không hộp số phù hợp hơn ở ngoài khơi vì nó yêu cầu chi phí bảo trì thấp cho các bộ phận rô-tơ kết nối trực tiếp với máy phát điện.

Sự đổi mới liên tục trong thiết kế và hiệu suất của kết cấu phao nổi, chiếm tỷ trọng lớn trong chi phí vốn, sẽ có tác động đáng kể đến tổng chi phí. Ngoài ra, sự phát triển của vật liệu cáp neo đậu và tiêu chuẩn hóa thiết kế hệ thống neo đậu đều có tiềm năng giảm thiểu chi phí. Ý tưởng thiết kế tích hợp của hệ thống neo và kết cấu phao nổi không chỉ giúp giảm thiểu chi phí mà còn giảm thời gian vận chuyển, lắp đặt và bảo trì. Ví dụ, mục tiêu của dự án COREWIND (giảm chi phí và tăng hiệu suất của công nghệ điện gió nổi) do Horizon 2020 thúc đẩy là giảm 15% LCOE của TĐGNNK thông qua các cải tiến trong hệ thống neo và cáp điện.

5. Kết luận

Sự khác biệt chính giữa TĐGCĐNK và TĐGNNK chính là tỷ trọng chi phí phân phụ trợ. Trong khi chi phí tua-bin điện gió được đánh giá chiếm tỷ trọng cao nhất trong TĐGCĐNK thì đối với TĐGNNK, chi phí

phần phụ trợ lại đòi hỏi nhiều hơn những chi phí khác. Vì có nhiều dạng thiết kế phao nổi khác nhau, chi phí phần phụ trợ và chi phí vận hành - bảo trì cũng có thể được giảm bớt bằng cách lựa chọn hoặc phát triển dạng thiết kế phao nổi phù hợp với điều kiện của khu vực lắp đặt. TĐGNNK dự kiến sẽ cạnh tranh hơn so với TĐGCĐNK thông qua một số chi phí thành phần thấp hơn.

Hiện tại, LCOE của TĐGNNK cao gấp 1,5-2 lần so với TĐGCĐNK, nhưng thông qua sự phát triển công nghệ và giảm chi phí, LCOE của TĐGNNK dự kiến xấp xỉ tương đương với TĐGCĐNK vào năm 2035. Bằng cách giảm LCOE thông qua một số yếu tố ảnh hưởng như quy mô phát triển, công suất tua-bin, giảm chi phí phần phụ trợ, giảm chi phí hòa vào lưới điện,..., dự kiến TĐGNNK có thể trở thành động lực quan trọng hỗ trợ chuyển đổi năng lượng sạch trong tương lai.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Harries, T., & Grace, A. (2015), *Floating Wind: Buoyant Progress, Wind-Research Note*, Bloomberg-New Energy Finance.
- [2] Tyler, S., Philipp, B., & Patrick D. (2019), *Cost of Wind Energy Review*, NREL/TP -5000-7847, US: National Renewable Energy Laboratory. <https://www.nrel.gov/docs/fy21osti/x78471.pdf>.
- [3] Lerch, M. (2019), *LIFES50+ D2.8: Expected LCOE for Floating Wind Turbines 10MW+ for 50m+ Water Depth*, Ref. Ares (2019)2889481, IREC.
- [4] Spearman, D.K., & Strivens, S. (2020), *Floating Wind Joint Industry Project - Phase II Summary Report*, UK: Carbon Trust.
- [5] Beiter, P., Musial, W., Kilcher, L., Maness, M., & Smith, A. (2017), *An Assessment of the Economic Potential of Offshore Wind in the United States from 2015 to 2030* (Technical Report NREL/ TP-6A20-67675, National Renewable Energy Laboratory.
- [6] DNV GL. (2020), *Floating Wind: The Power to Commercialize, Insights and Reasons for Confidence*, Norway.
- [7] Jame, R., & Costa Ros, M. (2015), *Floating Offshore Wind: Market and Technology Review*, UK: Carbon trust.
- [8] Offshore Renewable Energy Catapult (OREC). (2019), *Guide to an Offshore Wind Farm: Updated and Extended*.
- [9] WindEurope. (2018), *Floating Offshore Wind Energy: A Policy Blueprint for Europe*.
- [10] OECD Nuclear Energy Agency (OECD NEA). (2018), *The Full Cost of Electricity Provision: Extended Summary*, (NEA No.7437). France.
- [11] IRENA. (2019), *Future of Wind: Deployment, Investment, Technology, Grid Integration and Socio-Economic Aspects* (A Global Energy Transformation paper). Abu Dhabi: International Renewable Energy Agency.
- [12] Jung, J. H., & Lee, S. J. (2020), *Enforcement Situation of Floating Offshore Wind Power and Technology Overview*, Korea Electric Power Corporation.

| | |
|--------------------|------------|
| Ngày nhận bài: | 24/11/2022 |
| Ngày nhận bản sửa: | 05/12/2022 |
| Ngày duyệt đăng: | 21/12/2022 |

HỆ THỐNG Ủ LẠNH - GIẢI PHÁP QUAN TRỌNG TRONG VIỆC KIỂM SOÁT LƯỢNG KHÍ THẢI TẠI CÁC CẢNG BIỂN, VÀ PHÁT TRIỂN CẢNG XANH TẠI VIỆT NAM

COLD IRONING - AN IMPORTANT SOLUTION IN CONTROL OF EMISSIONS AT SEAPORTS AND GREEN PORT DEVELOPMENT IN VIETNAM

LÊ SƠN TÙNG

Khoa Kinh tế, Trường Đại học Hàng hải Việt Nam

Email liên hệ: lesontung@vimaru.edu.vn

Tóm tắt

Vận chuyển bằng đường biển giữ vai trò quan trọng đối với tăng trưởng kinh tế của mỗi quốc gia và thương mại toàn cầu. Tuy nhiên, nó cũng tạo ra một lượng khí thải khổng lồ và tác động xấu vào môi trường, đặc biệt tại khu vực cảng biển. Hệ thống ủ lạnh (cold ironing) là một giải pháp hiệu quả cho việc giảm thiểu lượng khí thải và tiếng ồn tại cảng, hỗ trợ cho việc phát triển cảng Xanh. Mục đích của nghiên cứu này là áp dụng nghiên cứu định lượng để khám phá ra các yếu tố ảnh hưởng đến quyết định thực hiện công nghệ ủ lạnh tại các cảng. Kết quả nghiên cứu đã chỉ ra có 4 yếu tố chính tác động đến việc này.

Từ khóa: Hệ thống ủ lạnh, cảng xanh, phát triển bền vững, luật pháp, kinh tế vĩ mô.

Abstract

Each nation's economic development and international trade are significantly influenced by maritime shipping. However, it also produces a significant quantity of pollutants and has negative environmental effects, particularly in the seaport region. The creation of a "Green Port" is supported by the use of the cold ironing system, which is an efficient way to lower emissions and noise at the port. This project will use quantitative research to identify the variables affecting the choice to use cold ironing technology at ports. According to research findings, there are four primary elements that have an impact on this.

Keywords: Cold ironing, green port, sustainable development, regulation, macroeconomics.

1. Mở đầu

Ngày nay, khoảng 80% khối lượng hàng hóa thương mại được vận chuyển bằng đường biển, tuy nhiên chúng cũng tạo ra khoảng 2,7% tổng lượng khí thải CO₂ nhân tạo trên toàn thế giới. Với tốc độ tăng trưởng hiện tại và dự đoán, điều này có nghĩa là lượng

khí thải trong không khí do tàu vận chuyển tăng lên tương ứng nếu không có biện pháp nào được thực hiện để giảm tác động môi trường của tàu thuyền [1]. Khí thải trong không khí có tác động trực tiếp đến sức khỏe con người cũng như môi trường, phát sinh từ quá trình đốt nhiên liệu hóa thạch trên tàu, điển hình là trong các động cơ diesel cũng như máy phát điện trên tàu.

Hen suyễn, ung thư phổi, đau tim, nhiễm trùng ngực và các bệnh đường hô hấp nghiêm trọng khác là một trong những vấn đề y tế nguy hại do ô nhiễm không khí gây ra [2]. Ngành vận tải biển là một trong những ngành gây ô nhiễm không khí nghiêm trọng, dẫn đến nhiều căn bệnh hen suyễn và các bệnh mãn tính khác, giết chết hàng triệu người mỗi năm [3]. Do đó, cần phải hành động để ngăn ngừa ô nhiễm không khí và duy trì môi trường lành mạnh cho con người, đặc biệt là ở các cảng.

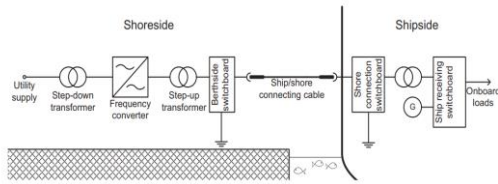
Ngành Hàng hải trong những năm qua đang áp dụng một số biện pháp để giảm thiểu sự tác động xấu vào môi trường. Tại những cảng biển lớn trên thế giới, công nghệ ủ lạnh (cold ironing) là một trong những giải pháp được sử dụng để giảm thiểu phát thải và giảm tiếng ồn tại các bến cảng, qua đó góp phần vào việc bảo vệ môi trường xung quanh khu vực cảng. Mặc dù, công nghệ ủ lạnh được đề cập khá phổ biến tại các nước phát triển, tuy nhiên tại Việt Nam ứng dụng công nghệ ủ lạnh còn rất hạn chế. Một trong những nguyên nhân chính là do chi phí đầu tư cao. Để công nghệ này dần được áp dụng tại các cảng tại Việt Nam, việc nghiên cứu các yếu tố thúc đẩy có vai trò quan trọng đến việc áp dụng công nghệ này. Mục đích của nghiên cứu này là sử dụng phương pháp định lượng để khám phá các yếu tố có vai trò thúc đẩy ứng dụng công nghệ ủ lạnh tại các cảng ở Việt Nam hiện nay.

2. Cơ sở lý luận

2.1. Công nghệ ủ lạnh (cold ironing)

Innes & Monios (2018) phát hiện ra rằng một lượng khí thải lớn từ tàu tại các cảng phát thải ra môi trường xung quanh cảng, đặc biệt là các loại khí SO_x, NO_x và PM. Nhóm nghiên cứu này còn cho biết, khi làm hàng tại cảng, các máy phát điện của tàu chạy

diesel cũng sản sinh ra một lượng khí thải khổng lồ và độ rung lớn, gây ô nhiễm không khí và ô nhiễm tiếng ồn, ảnh hưởng xấu đến người làm việc tại cảng.



Tham khảo Sciberras và cộng sự, 2014

Hình 1. Quy trình công nghệ ủi lạnh

Công nghệ ủi lạnh đó là phương pháp cung cấp nguồn điện năng cho các thiết bị điện trên tàu bằng cách kết nối với nguồn điện trên bờ thay vì sử dụng máy phát điện phụ trợ của chúng, hay còn được gọi là nguồn cung cấp điện trên bờ (OPS) hoặc điện trên bờ (SSE). Quy trình này cho phép tiếp tục cấp điện cho các thiết bị khác, bao gồm thiết bị khản cấp, điện lạnh, làm mát, sưởi ấm và chiếu sáng, trong khi tàu bốc hoặc dỡ hàng [4]. Tác dụng chính của công nghệ ủi lạnh là cung cấp điện cho các thiết bị trên tàu, mà tàu không phải sử dụng các máy phát điện. Qua đó, nó có tác dụng giảm các loại khí thải gây ô nhiễm không khí và giảm tiếng ồn cái mà gây ra ô nhiễm tiếng ồn.

Lợi ích của công nghệ ủi lạnh từ quan điểm môi trường và tài chính đã được khẳng định trong các nghiên cứu trước đây đã được nghiên cứu cho các cảng Los Angeles (Mỹ), Oslo (Na Uy), Aberdeen (Scotland), Copenhagen (Đan Mạch) và Cao Hùng (Đài Loan) [4], [5], [7], [9]. Việc giảm các chất gây ô nhiễm cục bộ và toàn cầu, cũng như tiếng ồn, là những lợi ích chính của công nghệ ủi lạnh đối với môi trường [8]. Theo nghiên cứu của Zis và cộng sự [10], công nghệ ủi lạnh có thể giảm lượng khí thải CO₂, SO₂, NO_x và BC lần lượt là 48-70%, 30-60%, 40-60% và 57-70%.

Công nghệ ủi lạnh mang lại một số lợi ích xã hội khi được coi là phương pháp giảm chi phí cho xã hội nói chung và thành phố cảng nói riêng. Ví dụ, Chatzinikolaou và cộng sự [6] ước tính tổng chi phí y tế xã hội là khoảng 25,3 triệu euro tại cảng Piraeus của Hy Lạp, trong đó hơn một nửa (61%) là do hạt vật chất. Nếu áp dụng công nghệ ủi lạnh, xã hội đã tiết kiệm được một khoản chi phí y tế rất lớn.

Ở các quốc gia có khả năng sản xuất năng lượng tái tạo cao, nó đã được chứng minh là thành công trong việc giảm lượng khí gây ô nhiễm không khí và biến đổi khí hậu. Là một biện pháp nằm trong ý tưởng “Cảng xanh”, ủi lạnh đã được sử dụng tại một số cảng

trên khắp thế giới. Tuy nhiên, chỉ có 28 cảng được lắp đặt công nghệ ủi lạnh trên toàn thế giới, theo WPCI (2017), cho thấy việc sử dụng công nghệ này còn hạn chế cho đến nay (Innes & Monios, 2018).

Theo nghiên cứu của Innes và Monios (2018) đã chỉ ra một số nguyên nhân cản trở việc áp dụng công nghệ ủi lạnh tại các cảng hiện nay, bao gồm sự thiếu tiêu chuẩn hóa, vốn đầu tư ban đầu lớn, cũng như nhận thức của các bên liên quan đến công nghệ này còn hạn chế. Ví dụ, Innes và Monios (2018) cho biết chi phí đầu tư dự kiến cho việc triển khai công nghệ ủi lạnh tại hai cảng Aberdeen và Copenhagen lần lượt khoảng 6,6 triệu và 37 triệu bảng Anh.

2.2. Những yếu tố thúc đẩy trong áp dụng công nghệ ủi lạnh

2.2.1. Yếu tố kinh tế vĩ mô

Nền kinh tế Việt Nam đã tăng trưởng nhanh chóng trong những năm gần đây, trung bình 6,4%/năm trong những năm 2000 (Shahbaz và cộng sự, 2019). Lạm phát thấp, chính phủ ổn định, dân số trẻ và hội nhập kinh tế quốc tế đều góp phần tạo nên mức tăng trưởng cao này. Việt Nam đã chính thức phê chuẩn, ký kết và có hiệu lực 15 Hiệp định thương mại tự do (FTA) và đang tích cực đàm phán 2 hiệp định khác. Trong số 15 FTA đã có hiệu lực, hiệp định Đối tác Toàn diện và Tiến bộ xuyên Thái Bình Dương (CPTPP) là FTA thế hệ mới đầu tiên mà Việt Nam tham gia, sau đó là Hiệp định Thương mại tự do Việt Nam - Liên minh châu Âu (EVFTA).

Kết quả là cả kim ngạch xuất nhập khẩu của Việt Nam đều tăng đáng kể. Tổng trị giá xuất nhập khẩu hàng hóa của Việt Nam trong nửa đầu năm 2022 tăng 16,4%, tương đương 52,32 tỷ USD so với cùng kỳ năm 2021, đạt 371,32 tỷ USD. Cán cân thương mại tiếp tục xuất siêu sau 6 tháng, ở mức 743 triệu USD. Bất chấp ảnh hưởng của dịch bệnh Covid-19, doanh thu và lợi nhuận tại các doanh nghiệp cảng biển trong nước và quốc tế vẫn tiếp tục tăng cao. Việc đầu tư của các doanh nghiệp sẽ được tác động thuận lợi từ các yếu tố vĩ mô tích cực. Với khoản đầu tư đáng kể cần thiết cho một hệ thống ủi lạnh, các biến số kinh tế vĩ mô chắc chắn có tác động có lợi đến việc triển khai hệ thống này.

Giả thuyết 1: Yếu tố kinh tế vĩ mô có tác động thúc đẩy quá trình triển khai công nghệ ủi lạnh tại các cảng.

2.2.2. Yếu tố vốn đầu tư nước ngoài

Vốn đầu tư trực tiếp nước ngoài (FDI) đã đóng một vai trò quan trọng trong tăng trưởng kinh tế xã hội của Việt Nam trong hơn 30 năm qua và vẫn tiếp tục như vậy. FDI vào Việt Nam đạt 31,15 tỷ USD năm 2021,

tăng 9,2% so với năm 2020 bất chấp diễn biến khó khăn của đại dịch Covid-19. Điều này thể hiện mức độ tin tưởng cao mà các nhà đầu tư nước ngoài dành cho môi trường đầu tư tại Việt Nam. Trong những năm gần đây, nguồn vốn FDI đóng vai trò quan trọng trong phát triển hạ tầng cảng biển. Các công ty quốc tế bao gồm Hutchison, PSA, DP World, SSA, Maersk A/S và CMA-CGM hiện diện trong ngành vận tải và cảng, đã giúp mở rộng đáng kể FDI vào Việt Nam.

Việt Nam đang cố gắng thiết lập một nền kinh tế tuần hoàn nơi các cảng biển đang chuyển dịch theo hướng bền vững. Việc xây dựng cảng xanh thu hút rất nhiều sự quan tâm. Tuy nhiên, việc xây dựng một hệ thống ủ lạnh sẽ tốn rất nhiều tiền [4]. Không cần phải nói rằng nguồn đầu tư nước ngoài sẽ rất quan trọng cho việc phát triển và xây dựng các công nghệ ủ lạnh tại các cảng.

Giả thuyết 2: Yếu tố vốn đầu tư nước ngoài có tác động thúc đẩy quá trình triển khai công nghệ ủ lạnh tại các cảng.

2.2.3. Yếu tố môi trường

Các phát hiện cho thấy, ngoài khả năng tài chính của cảng, các mối quan tâm về môi trường cũng có tác động đến việc lựa chọn áp dụng công nghệ như ủ lạnh (Williamsson và cộng sự, 2022). Theo các nghiên cứu của Tổ chức Hàng hải Quốc tế, vận tải hàng hải chịu trách nhiệm cho khoảng 2,2%, 15% và 5-8% lượng khí thải carbon dioxide (CO₂), oxit nitơ (NO_x) và oxit lưu huỳnh (SO_x) của thế giới (Wang, và cộng sự, 2021). Cho rằng hơn 90% thương mại toàn cầu diễn ra trên đại dương, rõ ràng là việc giảm lượng khí thải này sẽ có ảnh hưởng lớn đến việc giảm thiểu ô nhiễm không khí (Monacelli, 2017).

Cách tốt nhất để giải quyết những vấn đề này là ủ lạnh. Bằng cách sử dụng công nghệ ủ nguội, các cảng hiện đại thải ra ít hơn 95-98% chất gây ô nhiễm. Tác giả cho rằng những ưu điểm về môi trường của ủ lạnh cũng như tác động của cảng đối với sức khỏe và môi trường sẽ khuyến khích việc áp dụng kỹ thuật này.

Giả thuyết 3: Yếu tố môi trường có tác động thúc đẩy quá trình triển khai công nghệ ủ lạnh tại các cảng.

2.2.4. Yếu tố luật pháp

Innes & Monios [4] chỉ ra rằng các yêu cầu pháp lý cơ bản do tổ chức Hàng hải quốc tế (IMO) nêu ra phải được tất cả các quốc gia tuân theo. Công ước quốc tế về ngăn ngừa ô nhiễm từ tàu do IMO tạo ra, có lịch sử lâu dài về kiểm soát ô nhiễm từ tàu (được gọi là Công ước MARPOL) [5]. Việt Nam là một thành viên của tổ chức Hàng hải quốc tế, với tinh thần chủ động trong việc tuân thủ các quy định quốc tế để

bảo vệ môi trường biển. Theo Luật bảo vệ môi trường năm 2014 có ghi rõ “bảo vệ môi trường là trách nhiệm và nghĩa vụ của mọi cơ quan, tổ chức, hộ gia đình và cá nhân”. Trong lĩnh vực hàng hải, Bộ luật Hàng hải năm 2015 cũng quy định rõ về việc phát triển kinh tế kết hợp với việc bảo vệ môi trường và cảnh quan. Với định hướng phát triển nền kinh tế xanh, chính phủ đưa ra nhiều quy định yêu cầu các doanh nghiệp phải thay đổi phương thức hoạt động của mình để giảm thiểu tác động vào môi trường và đảm bảo phát triển bền vững. Do vậy, tác giả cho rằng các yếu tố luật pháp sẽ có tác động thúc đẩy các doanh nghiệp cảng áp dụng hệ thống ủ lạnh tại các cảng.

Giả thuyết 4: Yếu tố luật pháp có tác động thúc đẩy quá trình triển khai công nghệ ủ lạnh tại các cảng.

2.2.5. Yếu tố khuyến khích

Trong quá khứ, văn hóa và đạo đức không đủ để khuyến khích việc sử dụng rộng rãi ủ lạnh (Arduino và cộng sự, 2013). Vì vậy, các biện pháp khuyến khích là rất quan trọng trong việc thúc đẩy các cơ quan quản lý cảng tham gia vào việc ủ lạnh và giảm các tác động ngoại tác bằng cách thúc đẩy tích hợp chi phí.

Một trở ngại lớn đối với việc áp dụng ủ lạnh là chi phí cao cho các khoản chi tiêu có thể sẽ được yêu cầu đối với nhiều loại phần cứng khác nhau (Radwan và cộng sự, 2019). Theo nghiên cứu, các cảng phải đầu tư từ 2 đến 6 triệu Đô la vào hệ thống ủ lạnh, số tiền này vượt quá khả năng chi trả của họ. Do thiếu vốn đầu tư ban đầu nên nhiều cảng cần vay vốn với lãi suất hợp lý. Các nhà chức trách cảng sẽ bị thuyết phục bởi các chính sách lãi suất thấp từ chính phủ. Do đó, tác giả gợi ý rằng chính phủ nên khuyến khích các cảng sử dụng công nghệ ủ lạnh để bảo vệ môi trường thông qua việc sử dụng các khuyến khích như ưu đãi tài chính, thuế quan và thủ tục hành chính.

Giả thuyết 5: Yếu tố khuyến khích có tác động thúc đẩy quá trình triển khai công nghệ ủ lạnh tại các cảng.

3. Phương pháp

3.1. Thu thập dữ liệu

Theo Đề án phát triển cảng Xanh của Bộ Giao thông vận tải, nghiên cứu này cần một khung mẫu về các cảng hiện đang được chuyển đổi thành cảng bền vững. Mạng lưới cảng biển Việt Nam bao gồm 34 cảng biển, trong đó có 13 cảng lớn và 21 cảng vừa và nhỏ. Nghiên cứu này áp dụng phương pháp chọn mẫu thuận tiện. Dựa vào danh sách các cảng sẵn có. Kết quả là 10 cảng được chọn cho cuộc khảo sát. Các câu hỏi khảo sát trực tuyến đã được gửi qua email cho những người tham gia. Trước khi trả lời các câu hỏi

khảo sát, người trả lời đã bày tỏ sự đồng ý của họ. Đối tượng khảo sát là những người làm công tác quản lý tại các bến cảng hoặc những người có nhiều năm thâm niên công tác tại các bến cảng. Dựa trên số lượng câu hỏi của bảng khảo sát là 15 câu hỏi. Số lượng đối tượng khảo sát cần lớn hơn 75 để đảm bảo độ tin cậy. Cỡ mẫu của nghiên cứu này là 83 người, được xem đủ điều kiện. Trên cơ sở tài liệu, bảng câu hỏi khảo sát bao gồm các câu hỏi liên quan đến các yếu tố góp phần vào việc bến cảng áp dụng phương pháp ủ lạnh.

3.2. Thang đo

Dữ liệu được thu thập cho nghiên cứu bằng phương pháp khảo sát cắt ngang. Các câu hỏi được sử dụng để đo lường các yếu tố nghiên cứu. Bảng câu hỏi được chia thành ba phần chính: (1) nhân khẩu học; (2) các yếu tố ảnh hưởng đến áp dụng công nghệ ủ lạnh; và (3) quy trình thực hiện ủ lạnh. Tác giả đã sử dụng thang đo Likert 5 điểm để đánh giá cả cấu trúc và mục quan sát được. Cụ thể, 1 là hoàn toàn không đồng ý; 2 biểu thị không đồng ý; 3 biểu thị bình thường; 4 biểu thị đồng ý; 5 cho biết rất đồng ý. Những người tham gia sẽ quyết định điểm nào mô tả chính xác nhất về họ.

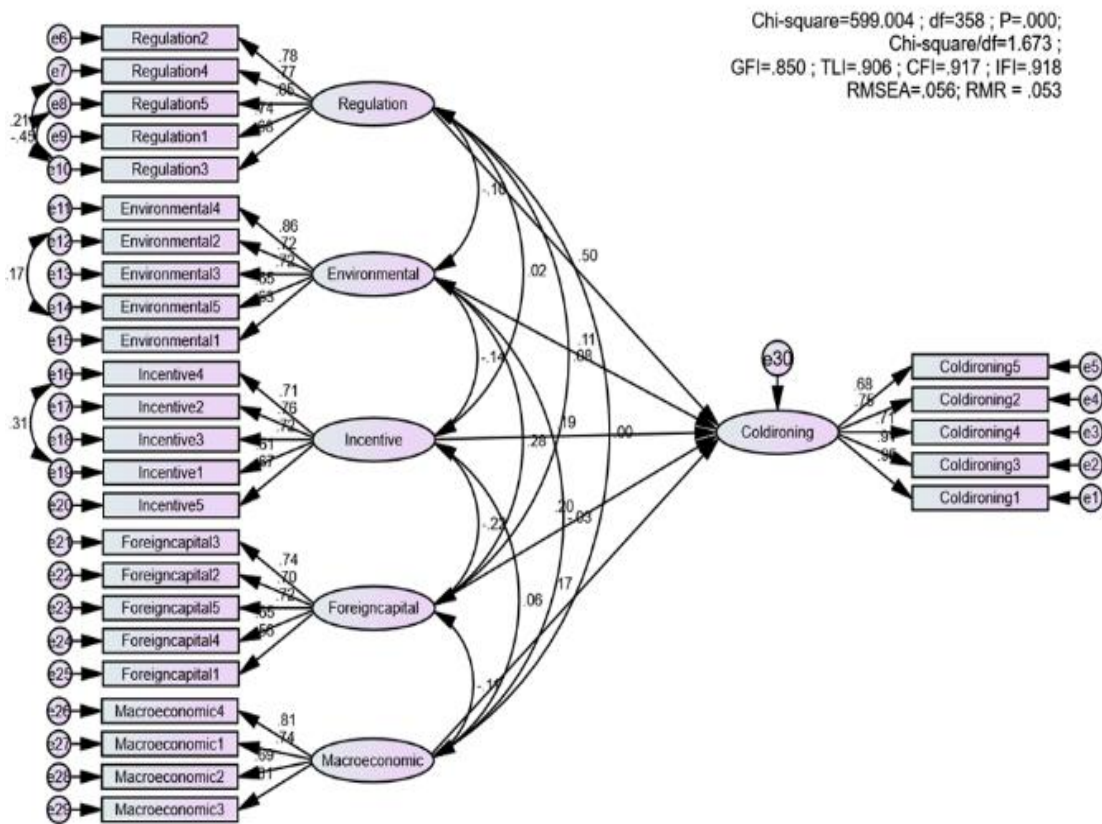
3.2. Phân tích

Dữ liệu của nghiên cứu này được thu thập cho nghiên cứu định lượng. Do đó, SPSS 22.0 và AMOS 22.0 đã được sử dụng để phân tích dữ liệu. Tác giả đã sử dụng quy trình hai giai đoạn của Anderson và Gerbing (1988) để phân tích dữ liệu và khám phá các kết quả nghiên cứu. Phân tích dữ liệu được sử dụng để trước tiên đánh giá tính hợp lệ hội tụ và phân biệt của thang đo nhiều mục của mô hình được đề xuất. Theo Bagozzi và cộng sự (1990), những loại giá trị này, hay “mức độ mà một hoạt động hóa đo lường ý tưởng mà nó được thiết kế để đánh giá”, là dạng xác thực khái niệm. Tác giả đã sử dụng Phân tích nhân tố chính (PCA) và Phân tích nhân tố khẳng định (CFA) lần lượt bằng SPSS 22.0 và AMOS 22.0 để điều tra mô hình đo lường. Sau đó, tác giả đã sử dụng mô hình phương trình cấu trúc (SEM) để đánh giá các mô hình cấu trúc dựa trên mô hình đo lường đã được làm sạch.

4. Kết quả

4.1. Phân tích nhân tố chính (PCA)

Tác giả thực hiện PCA với phân tích xoay vòng



Hình 2. Hệ số đường dẫn chuẩn hóa của mô hình

Promax của dữ liệu. Người ta thấy rằng có sáu yếu tố có giá trị riêng cao hơn 1.0. Tất cả các cấu trúc kết hợp để giải thích 63,4% biến thể. Phân tích nhân tố khẳng định sau đó được thực hiện.

4.2. Phân tích nhân tố khẳng định (CFA)

Sử dụng AMOS 22.0, phân tích nhân tố khẳng định (CFA) được thực hiện. Mô hình sáu yếu tố được đề xuất khá phù hợp với dữ liệu ($\chi^2 = 599,004$; $df = 358$; $\chi^2/df = 1,673$; CFI = 0,917; TLI = 0,906; GFI = 0,850; IFI = 0,918; RMSEA = 0,056). Theo nghiên cứu trước đây [5], một số tiêu chí của chỉ số mức độ phù hợp bao gồm: giá trị của χ^2/df phải nhỏ hơn 3, mức độ phù hợp tốt cho RMSEA là không > 0,08 và giá trị ngưỡng của CFI và TLI là 0,90 trở lên. Do đó, mô hình sáu yếu tố được đề xuất cho các chỉ số phù hợp của nghiên cứu này được coi là có thể chấp nhận được.

4.3. Kiểm định giả thuyết

Mô hình phương trình cấu trúc (SEM) đã được sử dụng để điều tra mối quan hệ giữa các biến và phân tích đường dẫn (path). Hướng ảnh hưởng ngoại sinh lên các biến nội sinh được đánh giá bằng cách sử dụng các hệ số chuẩn hóa, sau đó được sử dụng để kiểm tra giả thuyết. Kết quả kiểm định SEM cho thấy các chỉ số mức độ phù hợp của mô hình lý thuyết ở mức khá cao ($\chi^2 = 599,004$; $df = 358$; $\chi^2/df = 1,673$; CFI = 0,917; TLI = 0,906; GFI = 0,850; IFI = 0,918; RMSEA = 0,056) (Hình 2).

Hình 2 hiển thị kết quả kiểm tra giả thuyết của tác giả. Kết quả của tác giả cho thấy rằng các yếu tố luật pháp có tác động tích cực đến việc áp dụng ủ lạnh ($\beta = 0,50$; $p < 0,001$), do đó hỗ trợ Giả thuyết 4. Ngoài ra, phân tích của tác giả đã tìm thấy mối liên hệ tích cực giữa các yếu tố khuyến khích và việc áp dụng ủ lạnh ($\beta = 0,19$; $p < 0,01$). Kết quả là Giả thuyết 5 đã được chấp nhận. Theo những phát hiện của tác giả, việc áp dụng ủ lạnh có mối tương quan thuận với cả các yếu tố thúc đẩy kinh tế vĩ mô và vốn nước ngoài ($\beta = 0,17$; $p < 0,05$) và ($\beta = 0,20$; $p < 0,01$), tương ứng. Như vậy, Giả thuyết 1 và 2 đã được chấp nhận. Dự đoán của tác giả không chính xác và Giả thuyết 3 bị bác bỏ. Các yếu tố môi trường không ảnh hưởng đến việc sử dụng ủ lạnh ($\beta = 0,11$; $p > 0,05$).

5. Kết luận

Những phát hiện của nghiên cứu có một số ý nghĩa quản lý và thực tiễn. Trước hết, quy định thể hiện tính hiệu quả của các luật pháp quốc gia và quốc tế trong việc vận hành các cảng áp dụng các nguyên tắc phát triển bền vững. Để khuyến khích các cảng chuyển đổi

cảng theo hướng xanh hơn, các cơ quan quản lý cần khuyến khích xây dựng và thực hiện các biện pháp cụ thể. Sự phổ biến của ủ lạnh bị cản trở do thiếu khung pháp lý chính xác. Ba loại công cụ chính sách đã được áp dụng để thúc đẩy sự phát triển của ủ lạnh có thể được xác định. Đầu tiên, quy định trực tiếp, còn được gọi là mệnh lệnh và kiểm soát, có thể được sử dụng bằng cách cung cấp các thông số kỹ thuật cho các thiết bị, hoạt động. Thứ hai, các khuyến khích kinh tế, là các quy tắc mềm trong mô hình này, có thể được các nhà hoạch định chính sách tạo ra bằng cách tạo ra thị trường, thuế hoặc trợ cấp trực tiếp chẳng hạn. Thứ ba, sử dụng cách tiếp cận hỗn hợp, trong đó xác định một số đặc điểm liên quan đến phát thải trong khi cho phép người tham gia lựa chọn và theo đuổi các giải pháp hấp dẫn nhất, là một phương pháp phức tạp và khó khăn hơn để phát triển chính sách. Thứ hai, việc xây dựng cơ sở hạ tầng cảng hưởng lợi lớn từ đầu tư nước ngoài. Để tạo ra một cú hích mạnh mẽ cho sự thay đổi này, chính phủ nên tìm cách thu hút bền vững đầu tư nước ngoài vào việc xây dựng cảng biển. Ngoài ra, việc duy trì môi trường kinh tế vĩ mô ổn định sẽ giúp hệ thống cảng biển mở rộng, đặc biệt là về tính bền vững. Ngoài ra, chính quyền cảng nhận thức được các yếu tố quan trọng ảnh hưởng đến việc triển khai ủ lạnh, giúp họ chủ động trong kế hoạch của mình.

Lời cảm ơn

Nghiên cứu này được tài trợ bởi Trường Đại học Hàng hải Việt Nam trong đề tài mã số: **DT22-23.91**.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Chang, C.-C., & Wang, C.-M. (2012). *Evaluating the effects of green port policy: Case study of Kaohsiung harbor in Taiwan*. Transportation Research Part D: Transport and Environment, 17(3), 185-189. doi:10.1016/j.trd.2011.11.006
- [2] Tian, L., Ho, K. F., Louie, P. K., Qiu, H., Pun, V. C., Kan, H. D., . . . Wong, T. W. (2013). *Shipping emissions associated with increased cardiovascular hospitalizations*. Atmospheric Environment, Vol.74, pp.320-325.
- [3] Kumar, J., Kumpulainen, L., & Kauhaniemi, K. (2019). *Technical design aspects of harbour area grid for shore to ship power: State of the art and future solutions*. International Journal of Electrical Power & Energy Systems, 104, 840-852.
- [4] Innes, A., & Monios, J. (2018). *Identifying the unique challenges of installing cold ironing at small and medium ports - The case of aberdeen*. Transportation Research Part D: Transport and

- Environment, Vol.62, pp.298-313.
- [5] Ballini, F., & Bozzo, R. (2015). *Air pollution from ships in ports: The socio-economic benefit of cold-ironing technology*. Research in Transportation Business & Management, Vol.17, pp.92-98.
- [6] Chatzinikolaou, S. D., Oikonomou, S. D., & Ventikos, N. P. (2015). *Health externalities of ship air pollution at port - Piraeus port case study*. Transportation Research Part D: Transport and Environment, Vol.40, pp.155-165.
- [7] Colarossi, D., & Principi, P. (2020). *Technical analysis and economic evaluation of a complex shore-to-ship power supply system*. Applied Thermal Engineering, Vol.181, 115988.
- [8] Sciberras, E. A., Zahawi, B., Atkinson, D. J., Juandó, A., & Sarasquete, A. (2014). *Cold ironing and onshore generation for airborne emission reductions in ports*. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers Part M Journal of Engineering for the Maritime Environment, Vol.230(1), pp.67-82.
- [9] Tseng, P. H., & Pilcher, N. (2015). *A study of the potential of shore power for the port of Kaohsiung, Taiwan: To introduce or not to introduce?* Research in Transportation Business & Management, Vol.17, pp.83-91.
- [10] Zis, T., North, R. J., Angeloudis, P., Ochieng, W. Y., & Bell, M. H. (2014). *Evaluation of cold ironing and speed reduction policies to reduce ship emissions near and at ports*. Maritime Economics & Logistics, Vol.16(4), pp.371-398. doi:10.1057/mel.2014.6

| | |
|--------------------|------------|
| Ngày nhận bài: | 25/11/2022 |
| Ngày nhận bản sửa: | 07/12/2022 |
| Ngày duyệt đăng: | 19/12/2022 |

MỘT NGHIÊN CỨU VỀ CHẾ ĐỘ TRÁCH NHIỆM PHÁP LÝ ĐỐI VỚI THIỆT HẠI Ô NHIỄM DẦU TRÊN BIỂN: SỰ CỐ NỔ GIÀN KHOAN DẦU DEEPWATER HORIZON

A STUDY OF CIVIL LIABILITY FOR OIL POLLUTION DAMAGE:
THE DEEPWATER HORIZON OIL RIG EXPLOSION INCIDENT

PHẠM VĂN TÂN

Trung tâm Huấn luyện thuyền viên, Trường Đại học Hàng hải Việt Nam

Email liên hệ: phamvantan@vimaru.edu.vn

Tóm tắt

Sự kiện nổ giàn khoan dầu Deepwater Horizon tại Vịnh Mexico của Mỹ làm tràn một lượng dầu thô chưa từng có trên vùng vịnh với khoảng 5 triệu thùng, và trở thành thảm họa về môi trường biển lớn nhất trong lịch sử thế giới. Sau sự kiện một loạt những thách thức pháp lý cũng như các bộ luật liên quan được xem xét trong việc bồi thường thiệt hại ô nhiễm dầu. Đó cũng là mục tiêu của bài viết này, hướng tới cho người đọc hiểu đầy đủ các vấn đề pháp lý xung quanh sự cố tràn dầu Deepwater Horizon nói riêng, và sự cố tràn dầu trên biển nói chung.

Từ khóa: Ô nhiễm dầu, Luật hàng hải, Bồi thường thiệt hại ô nhiễm dầu.

Abstract

The Deepwater Horizon drilling rig exploded in the US Gulf of Mexico, as a result five million barrels of oil flowed into the Gulf, and the Deepwater Horizon oil spill is regarded as one of the largest environmental disasters in world history. After the incident, a series of legal challenges as well as related laws were considered in the compensation for oil pollution damage. That is also the goal of this article, aiming for readers to fully understand the legal issues related to the Deepwater Horizon oil spill in particular, and the oil spill at sea in general.

Keywords: Oil pollution, Maritime laws, Compensation for oil pollution damage.

1. Bối cảnh thực tế

1.1. Thảm kịch nổ giàn khoan Deepwater Horizon

Vào ngày 20 tháng 4 năm 2010, giàn khoan Deepwater Horizon thuộc sở hữu của Transocean và cho hãng dầu khí BP thuê đã phát nổ ở Vịnh Mexico cách khoảng 64 km về phía tây nam bờ biển Louisiana

của Mỹ, hậu quả 11 công nhân thiệt mạng, tràn một lượng dầu thô chưa từng có trên vùng Vịnh với khoảng 5 triệu thùng, và trở thành thảm họa về môi trường biển lớn nhất trong lịch sử Hoa Kỳ.

Và phải mất 03 tháng để ngăn chặn, hạn chế sự cố tràn dầu này. Lượng dầu còn lại trong môi trường cũng như vị trí trôi dạt của nó là vấn đề còn tranh cãi, nhưng không thể bàn cãi rằng dầu vẫn còn trên bề mặt biển, một số đã bay hơi và một số lượng không xác định chìm xuống dưới đáy đại dương. Các nỗ lực đã được thực hiện để ngăn chặn thiệt hại. Các ngư dân tham gia vào chương trình “thuyền thu gom” để hút dầu tràn trên bề mặt biển.

Trong quá trình làm sạch dầu tràn trên mặt biển, BP đã đổ chất phân tán hóa học xuống vùng Vịnh khiến dầu bị phân hủy và tan nhanh hơn dự kiến. Thật không may, khối lượng lớn các chất phân tán được sử dụng đã khiến các nhà khoa học lo ngại về những nguy cơ tiềm ẩn độc hại của nó đối với con người và môi trường. Thật vậy, bất chấp chỉ thị của Cơ quan Bảo vệ Môi trường (EPA), BP đã từ chối chuyển sang các chất phân tán thay thế ít độc hại hơn. Có một cuộc thảo luận đang diễn ra về việc liệu các chất phân tán thực sự giúp làm sạch hay chỉ đơn giản là làm cho dầu phân tán và dẫn đến khó khăn hơn trong việc thu gom dầu.

Một số đơn vị đã bắt đầu điều tra vụ việc. Kể từ tháng 8 năm 2010, Bộ Tư pháp đã mở các cuộc điều tra dân sự và hình sự. Cảnh sát biển Hoa Kỳ đã bắt đầu cuộc điều tra về nguyên nhân của vụ nổ. Tổng thống Obama đã thành lập một ủy ban lưỡng đảng có nhiệm vụ xem xét nguyên nhân của thảm họa và triển khai các biện pháp phòng ngừa. Cả hai Ủy ban Hạ viện và Thượng viện đã tổ chức các cuộc điều trần về vụ tràn dầu. Ngoài ra, BP đã công bố một báo cáo về cuộc điều tra nội bộ của chính mình vào ngày 08/9.

1.2. Quỹ ủy thác của BP

Sau vụ nổ, BP đã thừa nhận trách nhiệm và sẽ trả “tất cả các yêu cầu hợp pháp”. Sau khi đàm phán với Chính quyền Obama, vào ngày 16 tháng 6, BP đã đồng ý đặt 20 tỷ USD vào quỹ ủy thác cho Cơ quan Khiếu

nại Bờ biển vùng Vịnh (Quỹ) do ông Kenneth Feinberg quản lý. Các cá nhân và doanh nghiệp có thể gửi yêu cầu tới Quỹ về chi phí làm sạch bờ biển và các thiệt hại kinh tế khác. Ông Feinberg sẽ có nhiệm vụ xác định những yêu cầu bồi thường nào sẽ được thanh toán và số tiền bồi thường là bao nhiêu. Ông ấy đã nhiều lần tuyên bố rằng mình sẽ đưa ra quyết định độc lập với cả BP và Nhà Trắng.

Thay vì theo đuổi các yêu cầu pháp lý tại tòa án, nhiều cá nhân chọn giải quyết với BP thông qua Quỹ. Quy tắc thủ tục và quy trình bồi thường của Quỹ thay đổi liên tục và do ông Feinberg xác lập. Cho đến nay, Feinberg đã xác định rằng có thể yêu cầu bồi thường khoản tạm ứng khẩn cấp, không có ràng buộc nào và không có nghĩa vụ từ bỏ quyền khởi kiện BP. Các khiếu nại sơ bộ này có thể được gửi cho đến ngày 23/11/2010. Hướng dẫn sơ bộ cho các khiếu nại tạm thời này đã được công bố vào ngày 23/8/2010.

Ngoài các khoản thanh toán tạm thời này, người yêu cầu bồi thường có thể gửi yêu cầu thanh toán cuối cùng. Các nạn nhân sẽ có ba năm để gửi yêu cầu thanh toán cuối cùng, với hạn nộp hồ sơ là ngày 23/8/2013. Mô tả các điều khoản có thể xảy ra đối với các khoản thanh toán cuối cùng, Feinberg đã nói, “Bạn hoàn toàn hài lòng với yêu cầu của mình, nhưng chỉ khi bạn từ bỏ quyền khiếu kiện trong tương lai của bạn”. Như vậy, bằng cách dàn xếp với BP, nạn nhân sẽ từ bỏ quyền đưa ra các yêu cầu chống lại bất kỳ bên chịu trách nhiệm pháp lý nào khác. Theo các quy tắc hiện hành, việc yêu cầu một khoản thanh toán cuối cùng sẽ không bắt buộc người yêu cầu phải chấp nhận đề nghị của BP; người yêu cầu bồi thường có thể từ chối đề nghị thanh toán cuối cùng và vẫn chọn khởi kiện ra tòa. Nguyên tắc chưa được ban hành cho các khoản thanh toán cuối cùng, nhưng các tài liệu của BP chỉ ra rằng cách thức thanh toán cuối cùng sẽ “gần giống” với cách thức cho các khoản thanh toán tạm ứng khẩn cấp. Cách thức thanh toán tạm ứng khẩn cấp quy định rằng các khiếu nại tạm thời sẽ yêu cầu ít tài liệu hơn và được xem xét theo tiêu chuẩn “ít khắt khe hơn” để chứng thực so với các khiếu nại về khoản thanh toán cuối cùng.

Cách thức thanh toán tạm thời chỉ đồng ý xem xét những thiệt hại trên bờ biển bị ô nhiễm. Tiêu chí này đã bị chỉ trích rộng rãi vì loại trừ tổn thất nằm trong đất liền, hoặc trên bãi biển không bị ô nhiễm nhưng vẫn bị thiệt hại kinh tế nghiêm trọng do sự cố tràn dầu. Bộ trưởng Tư pháp Florida đã cho rằng điều khoản này trái với Đạo luật Ô nhiễm Dầu (OPA). Một điều khoản gây tranh cãi khác của Quỹ là số tiền thanh toán cuối cùng mà các cá nhân được hưởng từ việc làm

sạch dầu tràn trên biển bằng cách tham gia vào chương trình “thuyền thu gom”. Ông Feinberg đã phải tuyên bố sẵn sàng xem xét lại cả hai điều khoản trên.

1.3. Thách thức pháp lý đối với lệnh tạm hoãn khai thác giàn khoan dầu

Một tuần sau sự cố Deepwater Horizon, Tổng thống Obama đã ra lệnh cho Bộ trưởng Nội vụ Ken Salazar tiến hành đánh giá môi trường trong 30 ngày, các nguyên nhân của thảm họa và đưa ra các biện pháp phòng ngừa có thể ngăn các thảm họa tương tự xảy ra. Trên cơ sở đánh giá đó, vào cuối tháng 5, Bộ trưởng Salazar đã đình chỉ hoạt động đối với các giàn khoan nước sâu ở Vùng Vịnh có “vị trí tương tự” với Deepwater Horizon. Quyết định của Bộ trưởng đã làm tạm hoãn 6 tháng đối với 33 giàn khoan dầu ngoài khơi Vùng Vịnh cũng như bất kỳ dự án khoan nước sâu nào mới được cấp phép trong khu vực.

Một nhóm các công ty năng lượng đã kiện chính phủ lên tòa án liên bang ở New Orleans để chống lại lệnh cấm khoan dầu của Bộ trưởng Salazar. Vào ngày 22/6/2010, thẩm phán Martin Feldman đã chấp nhận yêu cầu của nguyên đơn và bãi bỏ lệnh cấm. Thẩm phán Feldman kết luận rằng lệnh cấm của chính phủ là “có tính chất bảo vệ”, “chung chung” và “trùng phạt” và rõ ràng sẽ gây tổn hại cho các ngành công nghiệp của nguyên đơn và khu vực. Sau đó, trong phiên tòa phúc thẩm vẫn giữ nguyên phán quyết. Vào ngày 12/7, Chính quyền Obama đã ban hành lệnh cấm khoan mới, hạn chế hơn, nhưng điều đó cũng đã bị Thẩm phán Feldman hủy bỏ vào ngày 02/9.

2. Khung pháp lý giải quyết bồi thường thiệt hại với sự cố tràn dầu Deepwater Horizon

Sau sự cố tràn dầu, hàng trăm vụ kiện chống lại BP, Transocean, Halliburton và Cameron International. Các nạn nhân chọn yêu cầu bồi thường thông qua Quỹ BP hay tại tòa án, thì đều khó khăn trong việc yêu cầu bồi thường đối với những thiệt hại không xác định. Đối với những thiệt hại không xác định, có thể mất nhiều thập kỷ để đánh giá đúng mức độ ảnh hưởng toàn bộ đến môi trường, hoặc các tác động đến sức khỏe của con người tại khu vực ô nhiễm trong tương lai. Tại cả tòa án và Quỹ, người yêu cầu bồi thường sẽ phải đưa ra số tiền cụ thể về lợi nhuận bị mất và các thiệt hại kinh tế khác dựa trên thông tin có sẵn tại thời điểm họ đưa ra yêu cầu.

Các đạo luật liên bang quy định những thiệt hại có sẵn cho những người bị thiệt hại về thể chất hoặc kinh tế do dầu tràn và chi phối các thủ tục mà người yêu cầu bồi thường phải tuân theo để khắc phục thiệt hại. Đạo luật quan trọng nhất trong số các đạo luật này là:

Đạo luật Ô nhiễm Dầu (OPA), điều chỉnh các thiệt hại kinh tế; Đạo luật Jones, điều chỉnh việc bồi thường thiệt hại khi một thủy thủ bị thương tật hoặc tử vong; Đạo luật Death on the High Seas Act, áp dụng cho những thuyền viên người thiệt mạng trên biển cả; và Đạo luật Giới hạn Trách nhiệm, cho phép chủ tàu có thể giới hạn mức bồi thường thiệt hại. Trong phần tiếp theo của bài viết, tác giả sẽ phân tích vai trò của các đạo luật trên trong việc giải quyết bồi thường thiệt hại trong sự cố tràn dầu Deepwater Horizon.

2.1. Đạo luật ô nhiễm dầu năm 1990 (OPA)

2.1.1. Vai trò của OPA

Đạo luật Ô nhiễm Dầu năm 1990 (OPA) đã được thông qua để ứng phó với vụ tràn dầu Exxon Valdez ở Alaska và nhằm giải quyết những khiếm khuyết trong hệ thống luật pháp bộc lộ sau thảm họa. Vai trò quan trọng nhất của OPA là đảm bảo sự sẵn có một nguồn tiền (Quỹ) để ứng phó với sự cố tràn dầu và mở rộng phạm vi bồi thường thiệt hại cho những người bị ảnh hưởng bởi sự cố tràn dầu. OPA đã sửa đổi Đạo luật Nước sạch và đưa ra một khuôn khổ toàn diện điều chỉnh trách nhiệm pháp lý, các giới hạn về thiệt hại và các biện pháp phòng ngừa có thể phát sinh từ sự cố tràn dầu. Theo OPA giới hạn trách nhiệm đã được nâng lên và phạm vi thiệt hại được bồi thường đã mở rộng.

2.1.2. OPA chi trả cho ai?

OPA áp dụng cho các tàu, cảng, đường ống, và những thiệt hại liên quan trong sự cố Deepwater Horizon, các cơ sở ngoài khơi bao gồm các dàn khoan dầu di động ngoài khơi. Đạo luật yêu cầu các bên chịu trách nhiệm cung cấp bằng chứng về trách nhiệm tài chính đủ để trang trải trách nhiệm pháp lý tối đa của bên đó. “Các bên chịu trách nhiệm” bao gồm những bên đã có hợp đồng thuê, giấy phép, quyền sử dụng hoặc chuyển nhượng khác cho cơ sở khoan dầu. Các tòa án đã giải thích điều khoản “bên chịu trách nhiệm” một cách rộng rãi. Cho đến nay, chính phủ đã xác định BP, người cho thuê giàn khoan, là một bên chịu trách nhiệm, nhưng có thể những người khác, bao gồm Transocean có thể phải chịu trách nhiệm theo OPA. Các bên thứ ba có thể được coi là bên chịu trách nhiệm nếu một hành động hoặc thiếu sót từ phía họ gây ra sự cố tràn dầu.

2.1.3. OPA liên quan đến trách nhiệm pháp lý nào?

OPA quy định trách nhiệm pháp lý nghiêm ngặt đối với các thiệt hại do sự cố tràn dầu. Những thiệt hại này bao gồm:

Chi phí loại bỏ hoàn toàn dầu tràn, cho dù chính phủ hay cá nhân phải chịu.

Thiệt hại về tài nguyên thiên nhiên, tổng cộng chi phí khôi phục, phục hồi, thay thế và/hoặc thu hồi tài nguyên thiên nhiên; sự suy giảm giá trị trong khi chờ khôi phục; và chi phí đánh giá thiệt hại. Các cơ quan chính quyền của tiểu Bang và liên Bang được ủy thác thay mặt cho công dân, chịu trách nhiệm tính toán những thiệt hại này và giám sát kế hoạch phục hồi tài nguyên. Các tính toán này có thể bị bác bỏ trước tòa nếu không xác thực.

Thiệt hại về tài sản, bao gồm cả thương tật trực tiếp và thiệt hại kinh tế do tài sản bị hủy hoại.

Mất khả năng sử dụng các nguồn tài nguyên thiên nhiên.

Mất nguồn thu của chính phủ và chi phí cung cấp các dịch vụ công cộng tăng lên.

Lợi nhuận bị mất và suy giảm.

Không có giới hạn trách nhiệm đối với chi phí loại bỏ dầu tràn. Các loại thiệt hại còn lại được giới hạn ở mức 75 triệu USD. Tuy nhiên, giới hạn 75 triệu USD này sẽ không được áp dụng khi sự cố xảy ra do sơ suất, hành vi cố ý sai trái của bên chịu trách nhiệm hoặc vi phạm quy định an toàn hiện hành. Tiền lãi đối với thiệt hại không bị giới hạn.

Bên có trách nhiệm hoàn toàn có quyền miễn trừ trách nhiệm pháp lý nếu sự cố là hậu quả do hành động chiến tranh, thiên tai, hành động hoặc sự thiếu sót của bên thứ ba.

2.1.4. Thủ tục khiếu nại theo OPA

OPA đặt ra một số thủ tục khiếu nại cho bên chịu trách nhiệm. Trong vòng 15 ngày kể từ ngày được chỉ định là “bên chịu trách nhiệm”, bên chịu trách nhiệm phải thực hiện thủ tục xác định thiệt hại phải bồi thường. Tất cả các yêu cầu về chi phí làm sạch, loại bỏ dầu tràn hoặc thiệt hại phải được đưa ra. Nếu bên chịu trách nhiệm từ chối trách nhiệm hoặc các bên không đạt được thỏa thuận giải quyết trong vòng 90 ngày, thì chỉ khi đó nguyên đơn mới có thể khởi kiện bên chịu trách nhiệm ra tòa. Ngoài yêu cầu bồi thường thiệt hại từ bên chịu trách nhiệm, người yêu cầu bồi thường có thể chọn yêu cầu bồi thường từ Quỹ Ủy thác Trách nhiệm pháp lý Sự cố Tràn dầu.

OPA thiết lập thời hiệu khởi kiện là ba năm cho hầu hết các yêu cầu bồi thường. OPA không khuyến khích các Bang thiết lập quy định của riêng họ để áp đặt trách nhiệm pháp lý hoặc các yêu cầu bổ sung. Như vậy, OPA đã có vai trò thiết lập một thủ tục chung cho toàn liên Bang, tạo thuận lợi cho người yêu cầu bồi thường không phải mệt mỏi theo đuổi các thủ tục riêng của mỗi Bang.

2.1.5. Quỹ Ủy thác Trách nhiệm Sự cố Tràn dầu

Ngoài việc tạo ra một khuôn khổ về trách nhiệm pháp lý, OPA cũng tạo ra Quỹ Ủy thác Trách nhiệm Sự cố Tràn dầu (OSLTF), để đảm bảo có một nguồn tiền sẵn có cho việc bồi thường các vụ tràn dầu nếu bên chịu trách nhiệm không thể hoặc không muốn trả tiền cho chi phí làm sạch, loại bỏ dầu tràn và các yêu cầu bồi thường. OSLTF có thể được sử dụng để thanh toán chi phí làm sạch, loại bỏ dầu tràn, đánh giá thiệt hại tài nguyên thiên nhiên và phục hồi, yêu cầu bồi thường thiệt hại của cá nhân và các chi phí hành chính khác. Nó được thiết lập bởi một số nguồn khác nhau bao gồm các khoản bồi thường thiệt hại do tài nguyên thiên nhiên bị hư hại và các loại thuế khác nhau, và nó được quản lý bởi Trung tâm Quỹ Ô nhiễm Quốc gia thuộc cơ quan Cảnh sát biển (NPFC).

Người khiếu nại muốn đưa ra yêu cầu bồi thường với Quỹ OSLTF trước tiên phải cố gắng giải quyết khiếu nại với bên chịu trách nhiệm. Sau đó, nguyên đơn có thể khởi kiện lên tòa án hoặc gửi yêu cầu bồi thường cho Quỹ OSLTF (nguyên đơn đưa ra lựa chọn các biện pháp khắc phục và chỉ có thể gửi đơn kiện lên Quỹ OSLTF hoặc trước tòa án). Quỹ OSLTF sẽ chấp nhận tất cả các thiệt hại được quy định theo OPA. Sau đó cơ quan NPFC có thể thanh toán toàn bộ yêu cầu, từ chối yêu cầu hoặc đưa ra đề nghị dàn xếp. Và người yêu cầu có thể kháng cáo việc từ chối khiếu nại theo Đạo luật thủ tục hành chính. Nếu người yêu cầu bồi thường chấp nhận đề nghị dàn xếp, thì không được phép thực hiện bất kỳ hành động khiếu nại nào tiếp theo để yêu cầu bồi thường. Tất cả các quyền của người yêu cầu bồi thường sẽ được thể quyền bởi cơ quan NPFC, và lúc đó cơ quan NPFC có thể đưa ra khiếu nại chống lại bên chịu trách nhiệm. Số tiền thu hồi được gửi vào Quỹ OSLTF. Như vậy, Quỹ OSLTF đã tạo thuận lợi cho những người yêu cầu bồi thường không có điều kiện hay khả năng theo đuổi các khiếu nại.

Ngoài ra, OPA yêu cầu Tổng thống thiết lập một hệ thống cho vay theo Quỹ OSLTF để cung cấp hỗ trợ tạm thời cho ngư dân và các bên nuôi trồng thủy sản trong quá trình yêu cầu bồi thường.

2.2. Đạo luật “Death on the High Seas Act” (“DOHSA”)

Một đạo luật khác liên quan đến sự cố tràn dầu là Đạo luật “Death on the High Seas Act” (“DOHSA”), Đạo luật DOHSA đưa ra các quy định điều chỉnh các khiếu nại về thiệt mạng của công dân xảy ra trên biển cách bờ biển Hoa Kỳ ít nhất 03 hải lý. Trong sự cố tràn dầu vùng Vịnh các khiếu nại về việc 11 công nhân đã thiệt mạng trong vụ nổ giàn khoan xảy ra cách bờ

biển Louisiana 43 hải lý có thể tuân theo các quy định của đạo luật DOHSA.

Đạo luật DOHSA đã quy định chống lại bên gây ra những tổn thất về kinh tế mà các thành viên trong gia đình của người thiệt mạng có thể thu được. Những thiệt hại này bao gồm những thu nhập bị mất, chi phí tang lễ. Các thiệt hại phi kinh tế, chẳng hạn như thiệt hại về tinh thần, thiệt hại về mất mát xã hội không được quy định theo đạo luật DOHSA. Các khiếu nại theo đạo luật DOHSA phải được đưa ra bởi đại diện cá nhân của người thiệt mạng, vì lợi ích của vợ/chồng, cha, mẹ, con hoặc người thân phụ thuộc của người bị thiệt mạng, với thiệt hại được phân bổ tương ứng với tổn thất mà mỗi người phải gánh chịu. Nếu trong sự cố người thiệt mạng cũng có phần lỗi thì nó không thể là một rào cản để yêu cầu bồi thường, nhưng theo quyết định của tòa án, có thể làm giảm số tiền được bồi thường.

2.3. Đạo luật Jones

Đạo luật Thương mại Hàng hải năm 1920 (Đạo luật Jones) bao gồm các quy định chống lại người sử dụng lao động khi thủy thủ bị thương hoặc thiệt mạng trong quá trình làm việc vì sự cẩu thả của người sử dụng lao động. Đạo luật Jones quy định rằng một thuyền viên bị thương có thể yêu cầu bồi thường, hoặc, nếu thuyền viên thiệt mạng thì người đại diện cá nhân của anh ta có thể yêu cầu bồi thường thiệt hại.

Theo Đạo luật Jones chỉ những thiệt hại kinh tế mới có thể được bồi thường. Những thiệt hại mất mát xã hội không bao gồm trong Đạo luật Jones. Tuy nhiên những yêu cầu bồi thường thiệt hại mất mát đau khổ về tinh thần có thể được xem xét bên cạnh những thiệt hại về kinh tế.

2.4. Đạo luật giới hạn trách nhiệm pháp lý

Đạo luật Giới hạn Trách nhiệm pháp lý năm 1851 (“LLA”) quy định rằng chủ tàu chỉ chịu trách nhiệm pháp lý về giá trị của tàu và hàng hóa, miễn là thiệt hại gây ra không phải do sơ suất trong hiểu biết và kiến thức của chủ tàu. Đạo luật LLA được thông qua vào giữa thế kỷ 19 để giúp các chủ tàu Hoa Kỳ cạnh tranh với các chủ hàng nước ngoài từ các quốc gia chịu giới hạn trách nhiệm pháp lý. Đạo luật LLA nổi tiếng được sử dụng như một biện pháp bảo vệ chủ tàu sau sự kiện chìm tàu Titanic. Hầu hết các chuyên gia pháp lý đồng ý rằng các yêu cầu theo OPA không bị giới hạn theo LLA, mặc dù theo LLA thì giới hạn áp dụng cho các yêu cầu bồi thường về thương tích hay tử vong cá nhân.

LLA quy định rằng chủ sở hữu chỉ chịu trách

nhiệm đối với giá trị của “con tàu và hàng hóa đang chờ xử lý”. Trong trường hợp bị thương hoặc tử vong, số tiền đó có thể được nâng lên dựa trên kích thước của tàu là 420 USD/mỗi tấn. Và chủ tàu có thể yêu cầu giới hạn trách nhiệm trong vòng sáu tháng kể từ khi xảy ra sự cố.

Transocean, chủ sở hữu của giàn khoan Deepwater Horizon, đã đệ trình yêu cầu giới hạn trách nhiệm của mình ở mức 27 triệu USD. Con số đó được tính bằng cách cộng giá trị của giàn khoan bị chìm (hiện bằng 0, vì nó nằm dưới đáy đại dương) với giá trị “cước vận chuyển đang chờ xử lý” của nó, là số tiền mà BP nợ Transocean để thuê giàn khoan. Hành động của Transocean liên quan đến giới hạn đã khiến các nhà bình luận phần nộ một phần vì công ty đã nhận được 267 triệu USD tiền bồi thường bảo hiểm sau khi giàn khoan bị chìm, có khả năng sau thảm họa này mang lại lợi nhuận cao cho công ty.

3. Kết luận

Bài viết đã phân tích những thách thức pháp lý, cũng như những quy định pháp luật làm cơ sở để tính toán và yêu cầu bồi thường thiệt hại đối với sự cố tràn dầu lớn nhất trong lịch sử của Hoa Kỳ. Kết quả của bài viết khẳng định một lần nữa về đặc điểm của ô nhiễm dầu trên biển là thường gây ra thiệt hại trên phạm vi rộng, liên quan đến nhiều chủ thể khác nhau, và việc tính toán thiệt hại ô nhiễm dầu để yêu cầu bồi thường thiệt hại thỏa đáng là phức tạp, khó khăn. Do đó, mỗi quốc gia trong đó cả Việt Nam cần phải có một hệ thống pháp luật rõ ràng và đầy đủ về trách nhiệm pháp lý dân sự đối với thiệt hại ô nhiễm dầu trên biển.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Phạm Văn Tân (2019), *Đạo luật ô nhiễm dầu của Mỹ và liên hệ tới Việt Nam*, Tạp chí Khoa học Công nghệ Hàng hải, Số 60 (11/2019).
- [2] Phạm Văn Tân (2019), *Một nghiên cứu về chế độ trách nhiệm dân sự đối với thiệt hại ô nhiễm dầu: sự khác biệt giữa OPA và CLC*, Tạp chí Khoa học và Công nghệ Việt Nam (B), Tập 61 - Số 10, tháng 10/2019.
- [3] United States (1990), *Oil Pollution Act*.
- [4] Kiern, Lawrence (2000), *Liability, Compensation, and Financial Responsibility Under the Oil Pollution Act of 1990: A Review of the First Decade*, TUL. MAR. L. J.,.
- [5] Kimberly Kindy (2020), *Early Cleanup Efforts of Gulf Oil Spill Marred by Communications Woes, Scammers*, August 14, 2010.
- [6] Matthew L. Wald (2010), *Clarifying Questions of Liability, Cleanup and Consequences*, N.Y. TIMES, May 6, 2010.
- [7] United States, *Death on the High Seas Act*.
- [8] United States, *Merchant Marine Act*.
- [9] United States, *Limitation on Liability Act*.
- [10] United States (2010), *Gulf Coast Claims Facility Protocol for Emergency Advance Payments*, August 23, 2010.
- [11] https://en.wikipedia.org/wiki/Deepwater_Horizon_oil_spill.
- [12] www.iopcfunds.org.

| | |
|--------------------|------------|
| Ngày nhận bài: | 09/12/2022 |
| Ngày nhận bản sửa: | 21/12/2022 |
| Ngày duyệt đăng: | 23/12/2022 |

THẺ LỆ VIẾT BÀI GỬI ĐĂNG TẠP CHÍ KHOA HỌC CÔNG NGHỆ HÀNG HẢI

1. Tạp chí “Khoa học Công nghệ Hàng hải” đăng các bài báo khoa học có nội dung công bố các kết quả nghiên cứu khoa học và chuyên giao công nghệ phù hợp với các lĩnh vực chuyên môn thuộc lĩnh vực Hàng hải. Bài gửi đăng Tạp chí là bài chưa từng công bố trên bất kỳ phương tiện báo chí, xuất bản nào khác. Tác giả là chủ sở hữu quyền tác giả của bài báo và chịu trách nhiệm về toàn bộ nội dung khoa học, cũng như các thông tin, tư liệu, số liệu, biểu đồ,... trong bài báo.

2. Quy định về hình thức trình bày một bài báo gửi đăng trên Tạp chí:

Bài gửi đăng trên Tạp chí được đánh máy vi tính theo font Unicode (Times New Roman), cỡ chữ 10pt trên khổ giấy A4 (Lề trái: 2,8 cm; Phải: 2,5cm; Trên: 3,0cm; Dưới: 2,5cm - được chia làm 02 cột) gồm 01 bản in dài không quá 05 trang và kèm theo file bản thảo được gửi về Ban biên tập Tạp chí qua địa chỉ Email: jmst@vamaru.edu.vn.

Quy cách trình bày được đăng trên Website <http://www.khcn.vamaru.edu.vn/>.

+ Tên bài báo viết bằng tiếng Việt và tiếng Anh (Times New Roman in hoa, đậm cỡ chữ 12pt);

+ Họ và tên tác giả (Times New Roman in hoa, đậm cỡ chữ 10pt);

+ Tên đơn vị (Times New Roman thường, nghiêng cỡ chữ 10pt);

+ Bài báo cần có đầy đủ tóm tắt, từ khóa, tóm tắt nội dung bài báo bằng Tiếng Việt và Tiếng Anh tối thiểu 100 từ, tối đa 300 từ phải nêu bật được nội dung chính, đóng góp mới của công trình nghiên cứu (Times New Roman thường, nghiêng cỡ chữ 10pt);

+ Nội dung bài báo cần có hành văn rõ ràng, súc tích, cách dùng thuật ngữ khoa học và đơn vị đo lường hợp pháp do Nhà nước ban hành hoặc đã dùng thống nhất trong chuyên môn hẹp và cần phải được phân rõ phần, mục, tiểu mục có đánh số thứ tự;

+ Công thức được viết theo Equation Editor, viết rõ theo kí hiệu thông dụng và đánh số thứ tự công thức về phía bên phải. Hình và ảnh minh họa là hình đen trắng, rõ nét và cần được chú thích đầy đủ (font in thường, đậm, nghiêng cỡ chữ 9pt);

+ Danh mục tài liệu tham khảo được đặt ngay sau phần kết luận của bài báo được ghi theo trình tự: thứ tự tài liệu trong []; Với tài liệu tham khảo là sách thì tên tác giả chữ thường, tên sách chữ nghiêng, nhà xuất bản, năm xuất bản; Với tài liệu tham khảo là Tạp chí thì tên tác giả chữ thường, tên bài chữ nghiêng, tên tạp chí, số tạp chí, năm xuất bản.

+ Bản thảo bài báo không đánh số trang.

3. Bài gửi đăng cần được viết theo đúng văn phạm (đặc biệt là Tiếng Anh), chế bản rõ ràng. Bài báo gửi đăng sẽ được ít nhất 02 phản biện khoa học đọc, góp ý sửa chữa và cho ý kiến để có thể được công bố trên Tạp chí “Khoa học Công nghệ Hàng hải”.

4. Tạp chí “Khoa học Công nghệ Hàng hải” chỉ đăng các bài đáp ứng các yêu cầu trên. Bài không đăng không trả lại bản thảo cho người gửi.

5. Tác giả/ Nhóm Tác giả có bài được đăng trên Tạp chí “Khoa học Công nghệ Hàng hải” được biếu 01 cuốn Tạp chí đăng bài đó và được hưởng mọi quyền lợi theo quy định.

Thư góp ý kiến và bài gửi đăng xin gửi theo địa chỉ:

Tòa soạn Tạp chí “Khoa học Công nghệ Hàng hải”

Phòng KH-CN, Trường Đại học Hàng hải Việt Nam, 484 Lạch Tray - Lê Chân - Hải Phòng

Tel: 0225 3829111; Email: jmst@vamaru.edu.vn;

Ghi chú: Theo Quyết định số 42/QĐ-HĐGSNN, ký ngày 06/7/2022 của Hội đồng Giáo sư Nhà nước có quy định những bài báo đăng trên Tạp chí "Khoa học Công nghệ Hàng hải" của Trường Đại học Hàng hải Việt Nam, được tính từ 0 đến 0,75 điểm công trình khoa học quy đổi khi xét công nhận các chức danh GS, PGS.

*In 300 cuốn tại Xưởng In Nhà xuất bản Hàng hải, Trường Đại học Hàng hải Việt Nam
In xong và nộp lưu chiểu tháng 01 năm 2023*

