

# Nâng cao hiệu quả sử dụng năng lượng trên tàu biển bằng giải pháp chạy tàu ở hiệu số mớn nước tối ưu

■ **THS. TRẦN QUỐC CHUẨN; PGS. TS. NGUYỄN KIM PHƯƠNG**  
**PGS. TS. TRẦN NGỌC TỬ; TS. NGUYỄN CHU GIANG**  
*Trường Đại học Hàng hải Việt Nam*

**TÓM TẮT:** Vấn đề sử dụng năng lượng hiệu quả trên tàu ngày càng mang tính cấp thiết bởi nó không những liên quan đến hiệu quả kinh tế trong khai thác tàu mà còn liên quan đến hàng loạt các yêu cầu bắt buộc của Ủy ban Bảo vệ Môi trường biển MEPC thuộc Tổ chức Hàng hải quốc tế (IMO) trong việc sử dụng năng lượng hiệu quả trên tàu nhằm giảm ô nhiễm môi trường, hiệu ứng nhà kính và nóng lên toàn cầu. Bài báo tổng hợp, phân tích các kết quả nghiên cứu trên thế giới và trong nước liên quan đến giải pháp chạy tàu ở hiệu số mớn nước tối ưu nhằm nâng cao hiệu quả sử dụng nhiên liệu trên tàu gồm mức tiết kiệm nhiên liệu mà giải pháp này mang lại, tính khả thi trong áp dụng vào thực tế của giải pháp này, các tồn tại của các nghiên cứu. Trên cơ sở đó, bài báo đặt ra một số vấn đề cần trao đổi, nghiên cứu tiếp liên quan đến giải pháp này.

**TỪ KHÓA:** Hiệu số mớn nước, sử dụng năng lượng hiệu quả, tàu biển, EEOI, IMO.

**ABSTRACT:** The ship energy efficiency becomes more and more pressed as it relates to not only the ship management economic efficiency but also to the compelling requirements of the Marine Environment Protection Committee (MEPC) of International Maritime Organization IMO in terms of effectively consuming energy on board to reduce environmental pollution, greenhouse effects and global warming. This paper synthesises and analyses the results of researches in the world concerned to the solution of operating ship at optimal trim value in order to enhance the efficiency of ship energy usage, which includes their energy saving benefit level, feasibility of practical application and the remains. As a result, this article proposes issues and further researches related to this solution.

**KEYWORDS:** Trim, energy efficiency, ship, EEOI, IMO.

## 1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Một trong những mong muốn của chủ tàu hay của các công ty vận tải biển là làm sao giảm được chi phí nhiên liệu cho tàu (chi phí chiếm 40 - 60% tổng chi phí vận

hành tàu) trong quá trình khai thác nhằm nâng cao được hiệu quả kinh tế cho tàu. Ngoài ra, việc tiết kiệm nhiên liệu cho tàu còn là yêu cầu bắt buộc của Tổ chức Hàng hải quốc tế (IMO) và của Ủy ban Bảo vệ Môi trường biển (MEPC) trong việc sử dụng năng lượng hiệu quả trên tàu nhằm giảm ô nhiễm môi trường, hiệu ứng nhà kính và nóng lên toàn cầu. Liên quan đến vấn đề này, người thiết kế, khai thác tàu cần phải quan tâm đến các chỉ số như chỉ số thiết kế năng lượng hiệu quả Energy efficiency design index (EEDI), chỉ số khai thác năng lượng hiệu quả Energy Efficiency Operational Indicator (EEOI), kế hoạch quản lý năng lượng hiệu quả của tàu Ship Energy Efficiency Management Plan (SEEMP) do IMO đưa ra. Chính vì vậy, bài toán nghiên cứu các giải pháp để tiết kiệm năng lượng hay sử dụng năng lượng hiệu quả trên tàu là một bài toán ngày càng có tính thời sự.

Đối với những tàu hiện có (đang khai thác), để nâng cao hiệu quả sử dụng năng lượng trên tàu, trên thế giới người ta đưa ra các giải pháp như: Cắt giảm tiêu hao công suất phụ (reduction of auxiliary power consumption); nâng cao hiệu quả khi thực hiện chuyển đi (improvement in voyage execution); Lựa chọn hướng và tốc độ tàu hợp lý dựa trên điều kiện sóng gió trên biển (weather routing); làm sạch thân tàu và chân vịt (cạo hà) theo định kỳ; sử dụng các loại sơn chống hà cho thân tàu và chân vịt; tái sử dụng nước thải làm mát máy trên tàu (waste heat recovery systems) và chạy tàu ở hiệu số mớn nước tối ưu (trim optimization) [1-3]. 4 giải pháp đầu tiên là các giải pháp được thực hiện thường xuyên trên tàu. Giải pháp thứ năm (giải pháp chạy tàu ở hiệu số mớn nước tối ưu) là giải pháp mới được IMO khuyến nghị áp dụng. Đây là giải pháp đơn giản không yêu cầu phải thay đổi kết cấu tàu mà chỉ cần điều chỉnh ballast và phân bố hàng hóa trên tàu thông qua kế hoạch xếp hàng để đạt được hiệu số mớn nước đưa ra. Cơ sở phương pháp luận cho giải pháp này đó là: Thông thường, như chúng ta đã biết, trong thiết kế thì tàu thường chỉ được tối ưu hóa (tuyến hình và thiết bị đẩy) ở một điều kiện nhất định (thường là tải tốc độ và đường nước thiết kế). Tuy nhiên, trong thực tế, khai thác tàu thì tàu sẽ chạy ở các chế độ tải và tốc độ khác nhau và khi đó nếu tàu chạy ở tư thế thẳng đứng (even keel) thì có thể lực cản tàu không phải là nhỏ nhất cũng như hiệu suất của thiết bị đẩy chưa phải là cao nhất so với khi chạy ở hiệu số mớn nước nào đó vì khi tàu chạy ở các hiệu số mớn nước và tốc độ khác nhau

sẽ dẫn đến sự thay đổi về lực cản tàu và hiệu suất của thiết bị đẩy.

Từ các vấn đề nêu trên, bài báo sẽ tiến hành tổng hợp, phân tích các nghiên cứu trên thế giới và trong nước liên quan đến giải pháp chạy tàu ở hiệu số môn nước tối ưu nhằm nâng cao hiệu quả sử dụng nhiên liệu trên tàu để từ đó có được cái nhìn tổng quan về giải pháp, mức tiết kiệm nhiên liệu mà giải pháp mang lại, tính khả thi trong áp dụng vào thực tế của giải pháp cũng như phương pháp tính đã được các tác giả sử dụng trong nghiên cứu này.

## 2. BÀN CHẤT MỚI QUAN HỆ GIỮA HIỆU SỐ MÓN NƯỚC VỚI MỨC TIÊU HAO NHIÊN LIỆU CHO TÀU

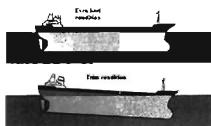
Hiệu số môn nước của tàu được định nghĩa là sự chênh lệch giữa chiều chìm mũi và lái của tàu theo công thức:

$$Trim = T_f - T_r \quad (1)$$

Trong đó: TA - Chiều chìm đo tại đường thủy trực lái của tàu; TF - Chiều chìm đo tại đường thủy trực mũi của tàu. Khi TA = TF thì tàu ở tư thế cân bằng mũi-lái (even keel).

Khi tàu chạy ở các hiệu số môn nước khác nhau sẽ dẫn tới sự thay đổi các thông số hình dáng sau của thân tàu:

- Diện tích mặt ướt thân tàu;
- Chiều dài đường nước;
- Hình dáng phần ngàm nước thân tàu, đặc biệt là hình dáng phần ngàm nước vùng mũi và lái tàu.



Hình 2.1: Sự thay đổi hình dáng ngàm nước của tàu giữa chế độ even keel và trim

Sự thay đổi về hình dáng thân tàu khi chạy ở các hiệu số môn nước khác nhau sẽ dẫn đến sự thay đổi về lực cản tàu và hiệu suất của thiết bị đẩy (chân vịt), điều này đã được trình bày rất chi tiết trong các tài liệu chuyên ngành [4-6]. Mặt khác, mức tiêu hao nhiên liệu của tàu phụ thuộc vào công suất máy chính, suất tiêu hao nhiên liệu riêng của máy, tốc độ, thời gian hành trình của tàu và điều kiện biển [6]:

$$m_{\text{c}} = f(P, V, m_{\text{c}}, S, \text{sea state}) \quad (2)$$

Ở đây:  $m_{\text{c}}$  - Mức tiêu hao nhiên liệu trên tàu;  $m_{\text{r}}$  - Suất tiêu hao nhiên liệu riêng của máy;  $V$  - Tốc độ tàu;  $S$  - Quảng đường hành trình trên biển; Sea state - Điều kiện biển.

Với máy chính, tốc độ tàu và quãng đường hành trình, điều kiện biển là cho trước thì mức tiêu hao nhiên liệu của tàu sẽ phụ thuộc vào công suất của máy chính. Trong đó, công suất máy chính là một hàm số phụ thuộc vào tốc độ, lực cản và hiệu suất của chân vịt, theo biểu thức [6]:

$$P_v = \frac{1/R}{\eta}, kW \quad (3)$$

Ở đây:  $V$  [m/s] - Tốc độ tàu;  $R$  [kN] - Lực cản tàu,  $\eta$  [-] - Hiệu suất của tổ hợp thiết bị đẩy.

Như vậy, từ các vấn đề nêu trên có thể thấy rằng, hiệu số môn nước của tàu có mối quan hệ mật thiết với mức tiêu hao nhiên liệu cho tàu và trong trường hợp này nhiệm vụ của người thuyền trưởng là phải xác định xem là tại tốc độ và tải đưa ra thì tải cần phải chạy với hiệu số môn nước là như thế nào để mức tiêu hao nhiên liệu là nhỏ nhất, cũng như vẫn đảm bảo được cho tàu hoạt động được một cách an toàn.

## 3. CÁC NGHIÊN CỨU LIÊN QUAN ĐẾN GIẢI PHÁP CHẠY TÀU Ở ĐỘ CHỤI TỐI ƯU

### 3.1. Các nghiên cứu ngoài nước

Các nghiên cứu trên thế giới về ảnh hưởng của hiệu số môn nước đến lực cản tàu phục vụ cho bài toán xác định hiệu số môn nước tối ưu của tàu trong khai thác nhằm nâng cao hiệu quả sử dụng năng lượng trên tàu đã được nhiều các tác giả thực hiện và đã thu được các kết quả mang tính chất định lượng như sau:

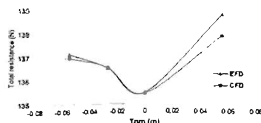
Nhóm các tác giả Tu.T.N [5], Sherbaz [7], Iakovatos [8] cùng các công sự đã tiến hành nghiên cứu ảnh hưởng của hiệu số môn nước đến sự thay đổi lực cản tàu dưới dạng mô hình áp dụng với nhiều loại tàu khác nhau gồm: tàu container, tàu chở hàng rời, tàu Roxap... Phương pháp nghiên cứu mà các tác giả sử dụng trong nghiên cứu của mình là CFD (Computational Fluid Dynamics) kết hợp với thử nghiệm mô hình trong bể thử. Kết quả nghiên cứu của các tác giả chỉ ra rằng, với tốc độ cho trước, khi tàu chạy ở các hiệu số môn nước khác nhau sẽ dẫn đến sự thay đổi lực cản tàu. Mức độ thay đổi phụ thuộc vào hình dáng thân tàu, tốc độ tàu, chế độ tải và hiệu số môn nước của tàu, mức thay đổi dao động trong dải từ 01 - 5% lực cản tàu so với tư thế even keel.



Hình 3.1: Mô hình tàu DTMB của Mỹ [9]

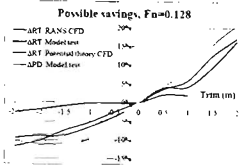


Hình 3.2: Thử mô hình DTMB tại bể thử của CTO, Ba Lan [10]

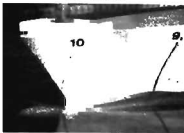


Hình 3.3: Sự thay đổi lực cản tàu ở các độ chúi khác nhau khi sử dụng hai phương pháp tính khác nhau (thực nghiệm và CFD) khi tàu chạy tại tốc độ  $V = 2,987 \text{ m/s}$  [5]

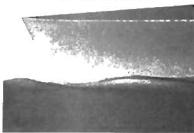
Nhóm tác giả Hansen [11], Larsen [4] cùng các công sự đã tiến hành nghiên cứu ảnh hưởng của độ chúi đến lực cản và hiệu suất của chân vịt khi tàu chạy trên nước tĩnh áp dụng tính cho mô hình tàu biển chở hàng cỡ lớn tại các tốc độ và mớn nước khác nhau của tàu. Kết quả tính toán của nhóm tác giả chỉ ra rằng, có thể giảm được 10% công suất máy khi tàu chạy ở hiệu số mớn nước tối ưu so với khi chạy ở tư thế even keel. Yếu tố tác động làm giảm công suất máy nhiều nhất (chiếm 80%) là liên quan đến việc gia tăng hiệu suất của chân vịt sau thân tàu khi tàu chạy ở mớn nước tối ưu so với even keel. Phương pháp nghiên cứu được nhóm tác giả sử dụng ở đây là thử mô hình trong bể thử cộng với mô phỏng số CFD.



Hình 3.4: Kết quả tính toán mức tiết kiệm nhiên liệu thu được khi tàu chạy ở các hiệu số mớn nước khác nhau tại tốc độ tương đối  $Fn = 0,128$



a) Thử nghiệm



b) Mô phỏng bằng CFD

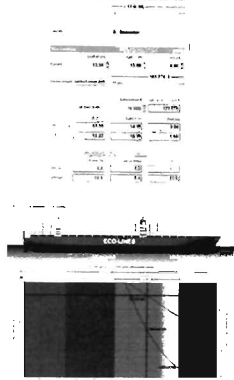
Hình 3.5: Kết quả mô phỏng hình dáng sóng tại  $Trim = -2m$  (chúi mũi) khi tàu chạy tại  $Fn = 0,128$

Đuôi góc độ nghiên cứu ứng dụng vào trong thực tế khai thác tàu, Viện Nghiên cứu "FORCE Technology" của Đan Mạch và Đăng kiểm DNV-GL là một trong hai nhà tư vấn nổi tiếng thế giới trong lĩnh vực tối ưu hóa hiệu số mớn nước của tàu trong khai thác nhằm nâng cao hiệu quả sử dụng năng lượng trên tàu.

Viện Nghiên cứu "FORCE Technology" đã tiến hành nghiên cứu tối ưu hóa hiệu số mớn nước cho hơn 300 tàu các loại gồm: tàu dầu, tàu hàng rời, tàu container, tàu LNG, Ro-Ro và phà. Theo các kết quả nghiên cứu mà công ty công bố, mức tiết kiệm nhiên liệu có thể đạt được lên

tới 15% ở một số điều kiện khai thác đặc biệt. Mức tiết kiệm nhiên liệu bình quân cho cả đội tàu ở vào khoảng từ 02 đến 3% khi chạy tàu ở hiệu số mớn nước tối ưu [12].

Đăng kiểm DNV-GL đang giới thiệu và thương mại hóa phần mềm ECO Assistant 4 [13]. Đây là phần mềm tối ưu hóa hiệu số mớn nước của tàu trong khai thác nhằm nâng cao hiệu quả sử dụng năng lượng trên tàu. Giao diện của phần mềm này được trình bày trên Hình 3.6.



Hình 3.6: Giao diện của chương trình ECO Assistant 4 [13]

Phần mềm ECO Assistant được xây dựng cho từng tàu cụ thể. Trên Hình 3.6 là giao diện phần mềm tối ưu hóa độ chúi hiệu số mớn nước cho tàu container 13000TEU. Trong phần mềm này, thông số đầu vào là: tốc độ tàu, chiều chìm, hiệu số mớn nước ban đầu; thông số đầu ra của phần mềm là: hiệu số mớn nước tối ưu, lượng nhiên liệu tiết kiệm được so với tư thế hiện thời của tàu, mức giảm  $CO_2$ .

Dựa trên kết quả tính toán, do đặc trưng tế mà DNV-GL công bố và đã được xác nhận bởi các chủ tàu đang khai thác tàu 13000 TEU, thì giá trị mà phần mềm ECO Assistant 4 mang lại cho tàu container sức chở 13000 TEU như sau [13]:

- Với trạng thái chờ 13000 TEU + 10000 tấn nước dẫn bổ sung thì tàu:

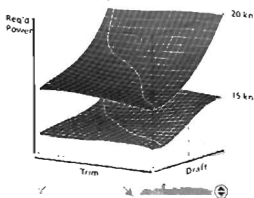
- + Tiết kiệm 5% nhiên liệu hay 4 tấn nhiên liệu mỗi ngày;
- + Trên hành trình 14 ngày thì tiết kiệm được 36000 USD (với vận tốc tàu 17knots, chiều chìm 13,5m với độ chúi không đổi và giá đầu dự kiến là 650 usd/tấn).

Với trạng thái 4100 TEU + 5000 tấn nước dẫn bổ sung thì tàu: Tiết kiệm được 5% nhiên liệu hay 1,9 tấn dầu nhiên liệu mỗi ngày (vận tốc 16knots; chiều chìm 11m với độ chúi không đổi).

Trung tâm bể thử mô hình tàu SSPA của Thụy Điển

cũng đã thực hiện rất nhiều nghiên cứu về tối ưu hóa hiệu số môn nước của tàu trong khai thác trên các tàu hàng rời và tàu chở dầu cỡ lớn. Kết quả nghiên cứu chỉ ra rằng, có thể giảm công suất máy xuống từ 10 - 15% khi tàu chạy ở chế độ ballast và 5 - 8% khi tàu chạy ở chế độ toàn tải [14].

Required Power (constant speed surfaces)



Hình 3.7: Kết quả của phần mềm tối ưu hóa hiệu số môn nước

Hiệp hội Sử dụng năng lượng hiệu quả toàn cầu (Global Maritime Energy Efficiency Partnerships GLOMEEP) đánh giá, việc tối ưu hóa hiệu số môn nước của tàu có thể giảm mức tiêu hao nhiên liệu của tàu xuống từ 0,5 - 3% đối với phần lớn các loại tàu vận tải biển, đối với các tàu với chế độ tải đặc thù như tàu container, tàu Ro-Ro với tiết kiệm nhiên liệu có thể đạt được là trên 5% [15].

### 3.2. Nghiên cứu trong nước

Về tình hình nghiên cứu trong nước liên quan đến giải pháp chạy tàu ở hiệu số môn nước tối ưu nhằm nâng cao hiệu quả sử dụng năng lượng trên tàu là còn khá mới mẻ và chưa được đề cập đến nhiều trong các bài báo khoa học và tài liệu chuyên ngành. Cụ thể, ở đây, trên cơ sở tham khảo các tạp chí chuyên ngành hàng hải gồm: Tạp chí Khoa học Công nghệ Hàng hải thuộc Trường Đại học Hàng hải Việt Nam [16]; Tạp chí Khoa học Công nghệ GTVT thuộc Trường Đại học GTVT TP. Hồ Chí Minh [17]; Tạp chí GTVT thuộc Bộ GTVT [18]; Tạp chí Môi trường của Tổng cục Môi trường [19] và các giáo trình, tài liệu tham khảo đang giảng dạy cho sinh viên chuyên ngành đi biển, chuyên ngành thiết kế tàu đang được giảng dạy tại Trường Đại học Hàng hải Việt Nam, Đại học GTVT TP. Hồ Chí Minh, chỉ tìm thấy duy nhất bài viết về giải pháp này, đó là bài báo "Hệ thống cung cấp giải pháp kỹ thuật nhằm sử dụng hiệu quả nhiên liệu trong vận hành tàu biển" của nhóm tác giả PGS. TS Nguyễn Công Vinh và PGS. TS. Nguyễn Kim Phương trên Tạp chí Môi trường của Tổng cục Môi trường [19]. Trong bài báo này, nhóm tác giả đã đề cập đến 3 giải pháp nhằm nâng cao hiệu quả sử dụng năng lượng trên tàu trong quá trình khai thác gồm: lựa chọn tốc độ tối ưu cho tàu; lựa chọn phương án nước dẫn khi tàu nhẹ tải và lựa chọn hiệu số môn nước tối ưu cho tàu. Trong đó, nhóm tác giả đã tiến hành thực nghiệm kiểm tra ảnh hưởng của sự thay đổi hiệu số môn nước, tốc độ tàu đến sự thay đổi mức tiêu thụ nhiên liệu

trên tàu FORTUNE NAVIGATOR chạy chuyên tuyến từ Hòn Dấu đến Vũng Tàu và ngược lại với quãng đường 738 hải lý. Kết quả nghiên cứu của nhóm tác giả đưa ra là với việc thay đổi hiệu số môn nước và tốc độ tàu một cách hợp lý, tàu sẽ tiết kiệm được 70 tấn dầu/năm (khoảng 26.000 USD) và giảm phát thải được 210 tấn CO<sub>2</sub>/năm vào môi trường. Như vậy, với hơn 1.400 tàu biển của Việt Nam hiện đang khai thác thì con số tiết giảm được sẽ là rất lớn.

### 3.3. Một số trao đổi

Qua tổng hợp, phân tích, thống kê ở trên về tình hình nghiên cứu trên thế giới và trong nước liên quan đến giải pháp chạy tàu ở hiệu số môn nước tối ưu nhằm nâng cao hiệu quả sử dụng năng lượng trên tàu, có thể đưa ra một số nhận xét sau:

Việc nghiên cứu về giải pháp chạy tàu ở hiệu số môn nước tối ưu nhằm nâng cao hiệu quả sử dụng năng lượng trên tàu là còn khá mới mẻ và chưa được đề cập đến nhiều trong các bài báo khoa học và tài liệu chuyên ngành ở trong nước.

Liên quan đến các nghiên cứu ở nước ngoài, về mặt tổng quan, các nghiên cứu của các tác giả trên thế giới về ảnh hưởng của hiệu số môn nước đến lực cản tàu cũng như hiệu suất của thiết bị đẩy hay nhìn rộng ra là mức tiêu hao nhiên liệu của tàu đã cung cấp cho chúng ta một cái nhìn tổng thể về mối quan hệ giữa hiệu số môn nước của tàu với hiệu quả sử dụng năng lượng trên tàu tại từng tốc độ và chế độ tải. Đối tượng nghiên cứu mà các tác giả trên thế giới hướng đến là các mẫu tàu hàng chạy biển khác nhau (tàu dầu, tàu container, tàu hàng rời...). Ứng với mỗi loại tàu khác nhau, tốc độ và chế độ tải khác nhau thì mức giảm lực cản tàu hay mức tiết kiệm nhiên liệu thu được là khác nhau, mức giảm trung bình vào khoảng từ 01 - 5%. Phương pháp mà các tác giả sử dụng trong nghiên cứu là thử mô hình trong bể thử và mô phỏng số CFD. Mặt tồn tại lớn nhất của các nghiên cứu nêu trên của các tác giả đó là phần lớn sử dụng mô hình tải để nghiên cứu và so sánh với kết quả thử mô hình trong bể thử. Việc tính toán trên tải thực và so sánh với kết quả thử thực ở ngoài biển còn chưa được đề cập đến. Trong khi đó, như chúng ta đã biết, việc thử mô hình trong bể thử có một số điểm hạn chế không thể đảm bảo được so với khi đo đạc trên tàu thực khi chạy thực tế ngoài biển [20]. Chính vì vậy, để tính chuyển sang tàu thực người ta phải sử dụng một số giả thiết, từ đó sẽ ảnh hưởng đến độ chính xác về kết quả thử được trên tải thực. Chính vì vậy, trên thực tế, khi đóng xong tàu bao giờ người ta cũng tiến hành thử trên biển trước khi đưa nó vào khai thác để kiểm tra độ tin cậy của các kết quả tính toán trong thiết kế. Tuy nhiên, hầu như các đơn vị thiết kế tàu, các hãng đang kiểm không công bố rộng rãi các kết quả thử thực này bởi nó liên quan đến bí mật trong thiết kế và trong tính toán của họ cũng như phương pháp đo mà họ triển khai trong quá trình thử tàu. Tồn tại thứ hai của các nghiên cứu này đó là mới chỉ tập trung nghiên cứu ảnh hưởng của hiệu số môn nước đến lực cản tàu, việc nghiên cứu ảnh hưởng của chúng đến hiệu suất của thiết bị đẩy còn chưa được quan tâm đến nhiều.

#### 4. KẾT LUẬN

Trên cơ sở nghiên cứu về giải pháp chạy tàu ở hiệu số môn nước tối ưu nhằm nâng cao hiệu quả sử dụng năng lượng trên tàu, bài báo giải quyết được các vấn đề sau:

- Đã khái quát bản chất mối quan hệ giữa hiệu số môn nước với mức tiêu hao nhiên liệu của tàu.

- Đã tổng hợp, phân tích được các tài liệu của các tác giả khác nhau ở trong nước và trên thế giới liên quan đến giải pháp này. Các nghiên cứu này là các tiền đề quan trọng cho nhóm tác giả khi triển khai nghiên cứu, áp dụng giải pháp này vào cho đội tàu Việt Nam nhằm nâng cao hiệu quả kinh tế và bảo vệ môi trường.

#### Tài liệu tham khảo

[1]. Prcić-Oršić, J., et al. (2016), *The influence of route choice and operating conditions on fuel consumption and CO2 emission of ships*, Journal of Marine Science and Technology, 21(3): pp.434-457.

[2]. Vettor, R. and C.G. Soares (2016), *Development of a ship weather routing system*, Ocean Engineering, 123: pp.1-14.

[3]. Papanikolaou, A., et al. (2016), *Energy efficient safe ship operation (SHOPERA)*, Transportation Research Procedia, 14: pp.820-829.

[4]. Larsen, N.L., et al. (2012), *Understanding the physics of trim in 9th annual Green Ship Technology (GST) conference*, Copenhagen

[5]. Tu, T.N., et al. (2018), *Numerical Study on the Influence of Trim On Ship Resistance In Trim Optimization Process*, Naval Engineers Journal, 130(4), pp.133-142.

[6]. Molland, A.F., S.R. (2017), *Turnock and D.A. Hudson, Ship resistance and propulsion*, Cambridge university press.

[7]. Sherbaz, S. and W. Duan (2014), *Ship trim optimization: Assessment of influence of trim on resistance of MOERI container ship*, The Scientific World Journal.

[8]. Iakovatos, M., D. Liarakis and G. Tzabiras (2014), *Experimental investigation of the trim influence on the resistance characteristics of five ship models*, Dev. Marit. Transp. Exploit. Sea Resour..

[9]. [Http://www.simman2008.dk/5415/combantant.html](http://www.simman2008.dk/5415/combantant.html)

[10]. CTO (2017), *Towing tank experiments of trim optimization for DTMB model*.

[11]. Hansen, H. (2010), *Assistance tools for operational fuel efficiency*, in 9th conference computer and IT applications in the maritime industries (COMPIT).

[12]. Reichel, M., A. Minchev and N. Larsen (2014), *Trim optimisation-theory and practice*, TransNav: International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation.

[13]. [Http://www.dnvgl-source.com/assets/documents/src/eco\\_assistant\\_2014\\_12\\_web.pdf](http://www.dnvgl-source.com/assets/documents/src/eco_assistant_2014_12_web.pdf).

[14]. Merrit, Boytim (2009), *Trim optimization - sustainable savings*, SSPA 47, p.3.

[15]. *Global maritime energy efficiency partnerships (glomeep)*, <http://glomeep.imo.org/technology/trim-and-draft-optimization/> (Accessed January 2017).

[16]. Tạp chí Khoa học Công nghệ Hàng hải, <http://khc.vimaru.edu.vn/tap-chi-khcnhh>.

[17]. Tạp chí Khoa học GTVT, <http://www.utc.edu.vn/khoa-hoc-cong-nghe/tap-chi-khoa-hoc-gtvt?page=1>.

[18]. Tạp chí GTVT, <http://www.tapchigiaothong.vn/tap-chi-giay-gtvt/p4>.

[19]. PGS. TS. Nguyễn Công Vinh, P.T.N.K.P. (2018), *Hệ thống cung cấp giải pháp kỹ thuật nhằm sử dụng hiệu quả nhiên liệu trong vận hành tàu biển*, Tạp chí Môi trường, 7: tr.32-33.

[20]. Tu T.N., C.N.M., Ha N.T.H., Quynh N.T.T. (2017), *Systematize the empirical methods to predict ship resistance in preliminary design stage*, Proceedings of national conference on mechanical and transportation engineering, vol.2, pp.384-389.

**Ngày nhận bài: 08/02/2020**

**Ngày chấp nhận đăng: 22/4/2020**

**Người phản biện: PGS. TS. Nguyễn Viết Thành**