

# Nghiên cứu lựa chọn nhiên liệu thay thế cho động cơ tàu thủy bằng phương pháp SWOT-AHP

■ TS. PHẠM VĂN VIỆT<sup>(\*)</sup>; TS. PHAN TRUNG KIẾN; THS. HOÀNG ĐỨC TUẤN

Trường Đại học Hàng hải Việt Nam

Email: <sup>(\*)</sup>phamvanviet@vimaru.edu.vn

**TÓM TẮT:** Trong bối cảnh ngành vận tải carbon thấp phải đạt được mục tiêu vào năm 2050, người ta đặt nhiều hy vọng vào các nhiên liệu thay thế trong các nỗ lực đầy triển vọng để giảm thiểu các phát thải SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub> và CO<sub>2</sub> cũng như tính bền vững. Mục tiêu của nghiên cứu này là đánh giá triển vọng của 7 loại nhiên liệu thay thế cho ngành vận tải biển bằng cách áp dụng phương pháp phân tích ra quyết định đa tiêu chí kết hợp SWOT với AHP và đặc biệt xem xét ảnh hưởng của các ưu tiên khác nhau của các bên liên quan. Kết quả nghiên cứu đã cho thấy LNG là nhiên liệu có nhiều tiềm năng và triển vọng nhất để trở thành nhiên liệu thay thế cho HFO trong những năm tới nhằm thực hiện các mục tiêu chung của IMO cũng như cam kết của Việt Nam tại COP26 về cắt giảm phát thải dòng CO<sub>2</sub> đến năm 2050.

**TỪ KHÓA:** Vận tải biển, động cơ tàu thủy, nhiên liệu thay thế, phân tích ra quyết định đa tiêu chí.

**ABSTRACT:** With the ambitious goal of achieving a low-carbon transportation sector by 2050, alternative fuels have emerged as promising solutions to mitigate SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub> and CO<sub>2</sub> emissions while enhancing sustainability. This work aims to evaluate the prospects of seven alternative fuels for the maritime industry using a multi-criteria decision analysis approach that integrates SWOT analysis with AHP. The study particularly considers the influence of different stakeholder priorities. The findings reveal that LNG (Liquefied Natural Gas) holds the most potential and promise as an alternative fuel to HFO (Heavy Fuel Oil) in the coming years to achieve the common goals of the IMO (International Maritime Organization) and Vietnam's COP26 commitments for CO<sub>2</sub> emission reduction by 2050.

**KEYWORDS:** Marine transport, marine engines, alternative fuels, multi-criteria decision analysis.

## 1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Vận tải biển đóng vai trò quan trọng trong thương mại toàn cầu nhưng cũng gây ô nhiễm môi trường do phát thải khí nhà kính [1]. Để giải quyết vấn đề này, Tổ chức Hàng hải Quốc tế (IMO) đã đề ra các quy định và chiến lược giảm thiểu khí thải. Một số giải pháp tiềm năng bao gồm sử dụng nhiên liệu thay thế như khí tự nhiên hóa lỏng (LNG), khí sinh học hóa lỏng (LBG), metanol, hydro... Việc lựa chọn nhiên liệu phù hợp cần cân nhắc nhiều yếu tố như hiệu quả, chi phí và tác động môi trường [2]. Các nghiên cứu thêm về các lựa chọn nhiên liệu, đặc biệt là nhiên liệu sinh học, là cần thiết để đưa ra chiến lược giảm thiểu khí thải hiệu quả nhất.

Nhiều nghiên cứu đã được thực hiện để đánh giá các lựa chọn nhiên liệu thay thế cho động cơ tàu thủy, vốn chủ yếu sử dụng nhiên liệu hóa thạch. Các nghiên cứu này xem xét nhiều yếu tố khác nhau và có trọng tâm khác nhau tùy theo quan điểm của các bên liên quan và chuyên gia [3]. Bằng cách áp dụng phân tích quyết định đa tiêu chí, LNG và hydro thường được đánh giá cao hơn metanol và ethanol cho ứng dụng vận tải biển [4]. Tuy nhiên, kết quả nghiên cứu phụ thuộc vào nhiều yếu tố, bao gồm loại nhiên liệu được đánh giá, giả định về quy trình sản xuất nhiên liệu, hiệu suất động cơ hiện tại và ý kiến của các chuyên gia tham gia nghiên cứu [5]. Do đó, cần có thêm nghiên cứu để đánh giá nhiều loại nhiên liệu thay thế hơn, bao gồm nhiên liệu sinh học và phân tích kỹ lưỡng hơn tác động của các tiêu chí khác nhau đối với xếp hạng nhiên liệu.

Nghiên cứu này sử dụng phương pháp phân tích quyết định đa tiêu chí để xem xét ảnh hưởng của các ưu tiên khác nhau từ các bên liên quan. Các loại nhiên liệu thay thế được xét bao gồm: Khí tự nhiên hóa lỏng (LNG), khí sinh học hóa lỏng (LBG), metanol từ khí tự nhiên (Me-HT), metanol tái tạo từ sinh khối (Me-TT), hydro (H<sub>2</sub>) từ khí tự nhiên (H<sub>2</sub>-HT) hoặc điện tái tạo (H<sub>2</sub>-TT), dầu thực vật đã qua xử lý hydro (HVO) và nhiên liệu nặng (HFO) để so sánh. Nghiên cứu đánh giá các yếu tố kinh tế, kỹ thuật, môi trường và xã hội ảnh hưởng đến lựa chọn nhiên liệu. Phân tích đa tiêu chí xếp hạng các tùy chọn nhiên liệu dựa trên đầu vào từ các bên liên quan sử dụng phương pháp phân tích thứ bậc (AHP) kết hợp với phân tích SWOT.

## 2. NỘI DUNG

### 2.1. Phương pháp nghiên cứu

Phân tích SWOT (điểm mạnh, điểm yếu, cơ hội, thách thức) là một công cụ phổ biến để đánh giá chiến lược, xem xét các yếu tố tác động và thúc đẩy đổi mới [6]. Phân tích SWOT được sử dụng rộng rãi để đánh giá tiềm năng của các nguồn năng lượng mới và nhiên liệu thay thế trong lĩnh vực giao thông xanh, bao gồm các khía cạnh công nghệ, kỹ thuật, kinh tế, môi trường, chính sách và xã hội. Tuy nhiên, SWOT có hạn chế khi giải quyết các vấn đề phức tạp do tính định tính và thiếu dữ liệu định lượng đáng tin cậy [7]. Phương pháp phân tích thứ bậc (AHP) là một kỹ thuật phổ biến trong phân tích quyết định đa tiêu chí, đặc biệt phù hợp cho lĩnh vực giao thông. AHP giúp kết hợp dữ liệu định lượng và định tính, đồng thời xem xét quan điểm của các bên liên quan khác nhau. AHP dựa trên so sánh theo cặp các lựa chọn thay thế và tiêu chí để xếp hạng chúng. Xếp hạng dựa trên hiệu suất tương đối của một phương án so với các phương án khác đối với một bộ tiêu chí và tầm quan trọng tương đối của tiêu chí trong việc hoàn thành mục tiêu đề ra [8]. Kết hợp SWOT và AHP giúp đánh giá toàn diện hơn về tiềm năng của các nhiên liệu thay thế cho vận tải biển, đồng thời đưa ra quyết định sáng suốt trong việc chọn nhiên liệu phù hợp.

**Bảng 2.1. Dữ liệu thể hiện hiệu suất các nhiên liệu thay thế theo các tiêu chí phụ khác nhau**

Tiêu chí phụ	HFO	HVO	LNG	LBG	Me-HT	Me-TT	H2-HT	H2-TT
Cơ sở hạ tầng sẵn có	4,1	3,6	2,7	1,9	2,4	2,1	1,4	1,2
Nguồn cung cấp nhiên liệu đáng tin cậy	3,3	1,6	2,7	2,4	2,5	2,1	1,6	2,8
Khả năng axit hóa theo mol H <sup>+</sup> tương đương (mol H <sup>+</sup> /MJ)	0,0003	0,00025	0,000085	0,000085	0,00022	0,00023	0	0
Tác động tới sức khỏe tương đương với PM 2,5 (µg/MJ)	0,021	0,0045	0,0015	0,0015	0,0033	0,0034	0	0
Biến đổi khí hậu tính theo GWP 100 đối với khối lượng tương đương (g/MJ)	90	32	83	55	92	21	133	22
Vốn đầu tư cho hệ thống động lực xét vào năm 2020 (\$/kW)	6.050	5.770	6.405	6.405	5.940	5.940	9.270	9.270
Chi phí vận hành tính bằng xét vào năm 2020 (\$/MWh)	5	5,5	9,2	9,2	6,4	6,5	11	11,5
Giá nhiên liệu dự kiến năm 2030 (\$/GJ)	10	28	8	17	12,5	25	17	38
An toàn	2,1	3,4	2,3	2,3	2,1	2,1	1	1,1
Luật pháp	2,1	3	2,9	3,2	2,8	3,3	3,8	4,1

### 2.4. Trọng số của các tiêu chí và tiêu chí phụ với nhóm liên quan trong lĩnh vực vận tải biển

Ở vòng đầu tiên, tất cả các bên liên quan tạo ra các ma trận so sánh theo cặp riêng lẻ cho các tiêu chí và cho từng nhóm tiêu chí phụ dựa trên sở thích của họ bằng cách sử dụng thang đo cơ bản của các số tuyệt đối cho cường độ được xác định bởi Saaty [10]. Bằng cách tổng hợp các mức độ ưu tiên riêng lẻ nhờ sử dụng trung bình hình học có trọng số và giả định rằng mỗi trọng số riêng lẻ đều quan trọng như nhau, một trường hợp cơ sở đã được tạo ra, thể hiện "quan điểm tổng hợp" của toàn bộ nhóm liên quan. Ở vòng thứ hai, các bên liên quan được sắp xếp thành các nhóm liên quan đến chuyên môn chính của họ và đại diện cho quan điểm của (i) chủ tàu, (ii) cơ quan chức năng, (iii) nhà sản xuất nhiên liệu và (iv) nhà sản xuất động cơ.

## 3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

### 3.1. Hiệu suất tương đối của các nhiên liệu thay thế

Hiệu suất tương đối của các nhiên liệu thay thế được nghiên cứu theo từng tiêu chí phụ được đưa vào và hiệu suất tổng thể được ước tính dưới dạng ưu tiên chuẩn hóa. Giá trị cao thể hiện hiệu suất được ưu tiên hơn. LNG có giá nhiên liệu thấp nhất. HFO có ưu thế nhất về cơ sở hạ tầng sẵn có và nguồn cung cấp nhiên liệu đáng tin cậy, đồng thời cùng với HVO

### 2.2. Lựa chọn nhiên liệu thay thế và tiêu chí

Các khía cạnh kinh tế (vốn đầu tư cho hệ thống động lực, chi phí vận hành, giá nhiên liệu), kỹ thuật (cơ sở hạ tầng sẵn có, nguồn cung cấp nhiên liệu đáng tin cậy), môi trường (axit hóa, sức khỏe, biến đổi khí hậu) và xã hội (an toàn, luật pháp) là những tiêu chí chính trong đánh giá. Cuộc khảo sát đã trình bày cho các bên liên quan tổng cộng 23 yếu tố được đề xuất, yêu cầu người trả lời chọn trong số các yếu tố này, các yếu tố mà theo quan điểm của họ là quan trọng nhất khi lựa chọn các nhiên liệu thay thế [9]. Các yếu tố được hơn 40% số người được khảo sát nêu tên đã được lựa chọn và đưa vào làm tiêu chí phụ trong đánh giá.

### 2.3. So sánh theo cặp về hiệu suất sử dụng nhiên liệu thay thế

Dữ liệu được sử dụng để thể hiện các tiêu chí quyết định khác nhau được trình bày trong *Bảng 2.1*, với các giả định cơ bản được mô tả bên dưới. Đối với các tiêu chí phụ không thể được biểu thị bằng một tham số thông tin định lượng duy nhất (cơ sở hạ tầng sẵn có, nguồn cung cấp nhiên liệu đáng tin cậy, an toàn và luật pháp), thang đo 4 cấp (1-4) đại diện cho kém, trung bình, khá và tốt được sử dụng để chấm điểm các khía cạnh cơ bản và mức trung bình được sử dụng để thể hiện các tiêu chí phụ.

có chi phí vận hành thấp nhất. HVO có chi phí đầu tư thấp nhất và mang lại hiệu quả tốt nhất về mặt an toàn. Hydro (cả hóa thạch và tái tạo) có tác động axit hóa và sức khỏe thấp nhất. Me-TT và H2-TT có tác động đến biến đổi khí hậu thấp nhất, trong khi H2-TT có hiệu suất tốt nhất theo quy định sắp tới.

### 3.2. Trọng số của các bên liên quan trong tiêu chí

Tầm quan trọng tương đối của từng tiêu chí phụ được xác định dưới dạng mức độ ưu tiên chuẩn hóa và được trình bày trong *Bảng 3.1*. Giá nhiên liệu là tiêu chí kinh tế quan trọng nhất và nguồn cung cấp đáng tin cậy là tiêu chí kỹ thuật quan trọng nhất trong mọi trường hợp. Biến đổi khí hậu được coi là tiêu chí môi trường quan trọng nhất, ngoại trừ việc các nhà sản xuất động cơ coi tác động đến sức khỏe là quan trọng hơn. Pháp luật sắp tới là tiêu chí xã hội quan trọng nhất, ngoại trừ việc các chủ tàu coi an toàn là quan trọng hơn.

*Bảng 3.1. Tầm quan trọng tương đối của từng tiêu chí phụ được xác định dưới dạng mức độ ưu tiên chuẩn hóa*

Tiêu chí phụ	Ưu tiên									
	Nhà sản xuất động cơ		Nhà sản xuất nhiên liệu		Chủ tàu		Cơ quan chức năng		Kết hợp tất cả các bên liên quan	
	Mức ưu tiên	Trọng số	Thứ tự ưu tiên	Trọng số	Thứ tự ưu tiên	Trọng số	Thứ tự ưu tiên	Trọng số	Thứ tự ưu tiên	Trọng số
Cơ sở hạ tầng sẵn có	2	0,21	2	0,21	2	0,21	2	0,18	2	0,29
Cung cấp nhiên liệu đáng tin cậy	1	0,82	1	0,82	1	0,82	1	0,83	1	0,73
Axit hóa	2	0,25	3	0,12	3	0,11	2	0,21	3	0,21
Thay đổi khí hậu	3	0,12	1	0,57	1	0,68	1	0,74	1	0,52
Tác động sức khỏe	1	0,64	2	0,31	2	0,23	3	0,08	2	0,31
Vốn đầu tư cho hệ thống động lực	2	0,24	2	0,24	2	0,21	2	0,25	2	0,26
Chi phí vận hành	3	0,13	3	0,13	3	0,07	2	0,26	3	0,17
Giá nhiên liệu dự kiến	1	0,66	1	0,66	1	0,73	1	0,51	1	0,58
An toàn	2	0,17	2	0,17	1	0,8	2	0,25	2	0,49
Luật pháp	1	0,84	1	0,84	2	0,21	1	0,76	1	0,52

### 3.3. Xếp hạng các nhiên liệu thay thế

Kết quả xếp hạng nhiên liệu khác nhau giữa các nhóm bên liên quan được thể hiện trong *Bảng 3.2*. Với nhóm kết hợp, LNG và HFO dẫn đầu, theo sau là HVO và H2, sau đó là metanol tái tạo và metanol hóa thạch. Theo quan điểm của chủ tàu/nhà sản xuất, LNG và HFO dẫn đầu, theo sau là metanol hóa thạch. Trong khi đó, hydro tái tạo dẫn đầu, theo sau là metanol tái tạo và HVO với quan điểm của cơ quan chức năng. Kết quả cho thấy, các bên liên quan khác nhau có ưu tiên khác nhau về lựa chọn nhiên liệu thay thế. LNG và HFO được ưa chuộng về mặt kinh tế, nhưng hydro tái tạo và nhiên liệu tái tạo khác có lợi thế về môi trường. Lựa chọn tối ưu phụ thuộc vào sự cân bằng giữa các yếu tố kinh tế, môi trường và quy định.

Mức độ quan trọng của từng tiêu chí đối với kết quả đánh giá nhiên liệu thay thế có thể khác nhau giữa các bên liên quan và loại nhiên liệu. Về giá nhiên liệu, thường quan trọng hơn đối với nhiên liệu hóa thạch (LNG, HFO, Me-HT) so với nhiên liệu tái tạo. Về biến đổi khí hậu, quan trọng nhất đối với H2-TT, Me-TT và HVO, đặc biệt là đối với các bên liên quan quan tâm đến môi trường. Về nguồn cung cấp nhiên liệu, H2-TT có độ tin cậy nguồn cung cấp nhiên liệu quan trọng hơn đối với chủ tàu và nhà sản xuất động cơ so với các loại nhiên liệu khác. Về luật pháp, tuân thủ luật pháp sắp tới quan trọng hơn đối với H2-TT đối với các bên liên quan trong lĩnh vực vận tải biển và quan trọng hơn đối với cả H2-TT và Me-HT đối với nhà sản xuất động cơ. Nhìn chung, tầm quan trọng của tiêu chí phụ thuộc vào quan điểm của bên liên quan và đặc điểm của từng loại nhiên liệu.

*Bảng 3.2. Xếp hạng nhiên liệu khác nhau giữa các nhóm bên liên quan*

Các nhóm bên liên quan	HFO	HVO	LNG	LBG	Me-HT	Me-TT	H2-HT	H2-TT
Nhà sản xuất động cơ	0,97	0,73	1,00	0,74	0,86	0,73	0,67	0,66
Nhà sản xuất nhiên liệu	0,99	0,76	1,00	0,74	0,86	0,77	0,64	0,68
Chủ tàu	0,95	0,74	1,00	0,70	0,80	0,66	0,63	0,57
Cơ quan chức năng	0,62	0,82	0,69	0,73	0,62	0,88	0,68	1,00
Kết hợp tất cả các bên liên quan	0,96	0,95	1,00	0,85	0,87	0,91	0,79	0,92

### 3.4. Thảo luận

Ngành vận tải biển đóng góp đáng kể vào lượng khí thải nhà kính toàn cầu, do đó việc tìm kiếm các giải pháp thay thế nhiên liệu hiệu quả là vô cùng quan trọng. Nhiên liệu thay thế tiềm năng cho tàu thủy bao gồm khí tự nhiên hóa lỏng (LNG), hydro, metanol và nhiên liệu sinh học. Mỗi loại nhiên liệu có những ưu và nhược điểm riêng về hiệu suất kinh tế, tác động môi trường và tính sẵn có. Lựa chọn nhiên liệu thay thế tối ưu phụ thuộc vào nhiều yếu tố, bao gồm giá cả, hiệu suất động cơ, cơ sở hạ tầng hiện có và các quy định môi trường. Do đó, việc đánh giá toàn diện các lựa chọn nhiên liệu thay thế đòi hỏi một cách tiếp cận đa tiêu chí. Nghiên cứu này đã sử dụng phương pháp phân tích quyết định đa tiêu chí để đánh giá 7 loại nhiên liệu thay thế tiềm năng cho vận tải biển vào năm 2030. LNG được xếp hạng cao nhất bởi sự kết hợp của các bên liên quan do giá cả cạnh tranh và tính sẵn có. Hydro tái tạo được đánh giá cao về hiệu suất môi trường và tính bền vững, nhưng lại có giá thành cao. Nhiên liệu sinh học có tiềm năng phát triển lâu dài nhưng hiện nay còn hạn chế về tính sẵn có và tính kinh tế. Me-TT được ưu tiên bởi nhóm cơ quan chức năng và nhà sản xuất nhiên liệu, trong khi các nhóm khác ưa chuộng các lựa chọn khác. Tuy nhiên, do kết quả không rõ ràng, cần có đánh giá bổ sung trên quan điểm hệ thống năng lượng để xác định vai trò của nhiên liệu sinh học trong vận tải biển. Sự hợp tác giữa các bên liên quan, bao gồm chính phủ, ngành công nghiệp và các nhà nghiên cứu rất cần thiết để giải quyết những thách thức và thúc đẩy việc áp dụng rộng rãi các loại nhiên liệu thay thế cho vận tải biển.

### 4. KẾT LUẬN

Nghiên cứu này đánh giá và xếp hạng các lựa chọn nhiên liệu thay thế cho ngành vận tải biển được lựa chọn dựa trên hiệu suất tương đối của chúng theo 10 tiêu chí bao gồm các khía cạnh kinh tế, môi trường, kỹ thuật và xã hội cũng như tầm quan trọng tương đối của các tiêu chí này dựa trên sở thích của các bên liên quan đến ngành vận tải biển. Sự khác biệt về mối quan tâm của các bên liên quan dẫn đến việc xếp hạng khác nhau của các lựa chọn nhiên liệu thay thế được đưa vào. Dựa trên quan điểm của các chủ tàu, nhà sản xuất nhiên liệu và nhà sản xuất động cơ, LNG được xếp hạng cao nhất, đứng thứ hai là HFO, tiếp đến là metanol hóa thạch, tiếp theo là nhiên liệu sinh học. Kết quả xếp hạng này xuất phát từ yếu tố kinh tế, đặc biệt là giá nhiên liệu, là tiêu chí hàng đầu của phân tích ra quyết định đa tiêu chí. Mặt khác, quan điểm của các cơ quan chức năng cho thấy hydro tái tạo được xếp hạng cao nhất, đứng thứ hai là metanol tái tạo và sau đó là HVO. Lý do là lượng phát thải khí nhà kính và khả năng đáp ứng các quy định là tiêu chí hàng đầu của các bên liên quan này. Mặc dù không phải là lựa chọn hàng đầu, nhiên liệu sinh học đã sẵn có trên thị trường và có thể sử dụng cho động cơ hiện có. Điều này khiến chúng trở nên hấp dẫn cho việc triển

khai nhanh chóng, đặc biệt là khi xem xét tính cấp bách trong việc giảm phát thải khí nhà kính của ngành vận tải biển trong chiến lược ngắn hạn của IMO.

**Lời cảm ơn:** Nghiên cứu này được tài trợ bởi Trường Đại học Hàng hải Việt Nam trong Đề tài mã số DT-23-24.22.

### Tài liệu tham khảo

- [1]. IRENA (2019), *Global energy transformation: A Roadmap to 2050*, in International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi, pp.1-52.
- [2]. A. T. Hoang et al. (2022), *Energy-related approach for reduction of CO2 emissions: A critical strategy on the port-to-ship pathway*, J. Clean. Prod., vol.355, p.131772, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.131772>.
- [3]. C. Deniz and B. Zincir (2016), *Environmental and economical assessment of alternative marine fuels*, J. Clean. Prod., vol.113, pp.438-449, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.11.089>.
- [4]. J. Ren and H. Liang (2017), *Measuring the sustainability of marine fuels: A fuzzy group multi-criteria decision making approach*, Transp. Res. Part D Transp. Environ., vol.54, pp.12-29, doi: <https://doi.org/10.1016/j.trd.2017.05.004>.
- [5]. J. Ren and M. Lützen (2017), *Selection of sustainable alternative energy source for shipping: Multi-criteria decision making under incomplete information*, Renew. Sustain. Energy Rev., vol.74, pp.1003-1019, doi: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.03.057>.
- [6]. A. Sarsby (2016), *SWOT analysis*, Lulu.com.
- [7]. U. Kesime, K. Pazouki, A. Murphy and A. Chrysanthou (2019), *Biofuel as an alternative shipping fuel: technological, environmental and economic assessment*, Sustain. Energy Fuels, vol.3, no.4, pp.899-909.
- [8]. P. I. Barbosa, A. Szklo and A. Gurgel (2022), *Sugarcane ethanol companies in Brazil: Growth challenges and strategy perspectives using Delphi and SWOT-AHP methods*, Biomass and Bioenergy, vol.158, p.106368.
- [9]. S. Månsson (2017), *Prospects for renewable marine fuels*, Chalmers Univ. Technol. Gothenburg, Sweden.
- [10]. T. L. Saaty (2008), *Decision making with the analytic hierarchy process*, Int. J. Serv. Sci., vol.1, no.1, pp.83-98.

Ngày nhận bài: 27/3/2024

Ngày nhận bài sửa: 15/4/2024

Ngày chấp nhận đăng: 25/4/2024