

ĐÁNH GIÁ HIỆU QUẢ CỦA MÔ HÌNH HẦM BẢO QUẢN LẠNH TRÊN TÀU CÁ VỎ COMPOSITE

EVALUATION OF THERMAL INSULATION PERFORMANCE OF A REFRIGERATED FISH HOLD MODEL ON COMPOSITE FISHING BOATS

Phạm Thanh Nhựt

Trường Đại học Nha Trang

Email: nhutpt@ntu.edu.vn

Ngày nhận bài: 26/04/2025; Ngày phản biện thông qua: 19/05/2025; Ngày duyệt đăng: 25/05/2025

TÓM TẮT

Tổn thất nhiệt ảnh hưởng rất lớn đến chất lượng sản phẩm bảo quản lạnh trên tàu và qua đó ảnh hưởng đến giá thành sản phẩm. Đánh giá hiệu quả bảo quản lạnh của hầm bảo quản sản phẩm trên tàu cá vỏ composite đang được nhiều nhà khoa học quan tâm nhằm góp phần nâng cao chất lượng sản phẩm sau đánh bắt. Trong nghiên cứu này, một hầm bảo quản cá thu nhỏ từ hầm cá thực tế của tàu cá vỏ composite theo tỷ lệ 1:2 được khảo sát. Kết cấu vách hầm dạng sandwich (composite-foam PU-composite) được giữ nguyên như thực tế. Bài báo sử dụng kết hợp phương pháp tính toán lý thuyết về tổn thất nhiệt và thực nghiệm trên mô hình hầm cá để đánh giá kết quả. Kết quả nghiên cứu cho thấy lượng tổn thất nhiệt và khối lượng đá tan trong mô hình hầm cá tăng tuyến tính (theo tính toán lý thuyết) và tương đối tuyến tính (theo thực nghiệm) theo thời gian chuyển biến. Tổng khối lượng đá tan trong hầm cá trong thời gian chuyển biến 30 ngày chiếm hơn 1/3 tổng khối lượng đá trong hầm. Nghiên cứu cũng đề xuất thời gian chuyển biến tốt nhất là 3 tuần nhằm tiết kiệm đá cho tàu.

Từ khóa: composite, tàu cá, tổn thất nhiệt, bảo quản lạnh, mô hình hầm cá.

ABSTRACT

Thermal losses are a key factor influencing the quality and commercial value of refrigerated products on fishing boats. This research focuses on evaluating the thermal insulation performance of a fish hold in a composite fishing boat by studying a scaled-down model (1:2) that replicates the original sandwich wall structure (composite-PU foam-composite). The study integrates theoretical heat transfer analysis and experimental testing on the model. Findings demonstrate that heat loss and ice melting rates increase linearly (theoretically) and quasi-linearly (experimentally) over the voyage period. Over a 30-day journey, ice loss exceeded one-third of the initial volume. To optimize resource efficiency, the study suggests limiting the voyage duration to approximately three weeks.

Key words: composite, fishing boat, heat loss, cold storage, fish tank model.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Trong những năm gần đây, số lượng tàu cá bằng vật liệu composite ở Việt Nam tăng rất mạnh do những ưu điểm của vật liệu này so với gỗ. Hầu hết tàu cá Việt Nam đều hoạt động đơn lẻ. Do đó, sản phẩm sau khi đánh bắt được đưa vào hầm để bảo quản lạnh bằng đá. Sau khi hoàn thành hoạt động đánh bắt, tàu di chuyển về cảng và tiến hành đưa cá lên bờ. Tùy theo ngành nghề mà thời gian bảo quản cá trên tàu kéo dài từ 1 tuần đến 2 tháng. Do đó, nếu bảo quản không tốt thì sẽ ảnh hưởng đến chất lượng sản phẩm, và qua đó ảnh hưởng đến hiệu quả kinh tế.

Một trong những tổn thất lớn đang được

quan tâm hiện nay là tổn thất sau thu hoạch mà nguyên nhân chủ yếu là do công tác bảo quản sau thu hoạch chưa đảm bảo. Theo [1], mức tổn thất sau thu hoạch của ngành khai thác hải sản ước tính mỗi năm khoảng trên 20%, thậm chí lên đến 30% đối với các tàu lưới kéo bảo quản bằng đá ướp. Nguyên nhân chính của tình trạng tổn thất sau thu hoạch cao là do phần lớn tàu thiếu trang thiết bị bảo quản sản phẩm. Bên cạnh đó, việc thiết kế và chế tạo hầm bảo quản lạnh không phù hợp cũng dẫn đến thất thoát nhiệt trong hầm [2]. Quy trình bảo quản đã được Bộ Nông nghiệp và Phát triển nông thôn Việt Nam ban hành trong tài liệu hướng dẫn kỹ thuật vào năm 2019 [3]. Theo đó, sản

phẩm trên các tàu khai thác xa bờ phải thực hiện theo các bước: đưa hải sản lên boong, xử lý sơ bộ, phân loại, bảo quản (ướp đá, lạnh kết hợp,...), theo dõi bảo quản – vận chuyển, bốc dỡ hải sản.

Về kết cấu hầm bảo quản, tùy theo vật liệu chế tạo vỏ tàu mà kết cấu vách bảo quản là khác nhau. Đối với tàu vỏ composite, hầm lạnh chủ yếu được thiết kế kiểu sandwich gồm 3 lớp: composite (vỏ tàu hoặc vách) – lớp foam PU (cách nhiệt) – lớp composite (lớp ốp). Hầm bảo quản lạnh của tàu cá vỏ composite cải thiện đáng kể hiệu quả bảo quản sản phẩm sau đánh bắt.

Xiaochao Liu [4] và cộng sự đã nghiên cứu độ bền của kết cấu tàu cá vỏ composite. Trong nghiên cứu này, một tấm có gân gia cường được đánh giá độ bền bằng phương pháp phần tử hữu hạn. Gân gia cường có kết cấu như vách hầm bảo quản lạnh, gồm 4 loại: (1) loại không có lõi (rỗng), (2) loại có lõi Polyurethane (PU), (3) loại có lõi Polyvinylchloride (PVC) và (4) loại có lõi gỗ thông (Pine wood). Kết quả cho thấy có sự khác biệt đáng kể giữa 4 loại này. Romadhoni và cộng sự [5] cũng nghiên cứu độ bền của tấm kết cấu kiểu sandwich của tàu đánh cá vỏ composite. Kết cấu tấm composite sandwich được khảo sát độ bền gồm 2 lớp da làm từ nhựa Polyester không nơ với sợi gia cường là Mat và vải, lớp lõi Polyurethane (PU). Phạm Thanh Nhut và cộng sự [6] đã nghiên cứu ảnh hưởng của điều kiện chế tạo đến biến dạng của kết cấu dạng tấm cong và nếp dạng chữ L của các kết cấu hầm tàu cá composite. Kết quả chỉ ra rằng khi tốc độ đông cứng và nhiệt độ tăng thì mức độ biến dạng giảm. Công thức dự đoán dạng biến từ thực nghiệm cũng được xây dựng và có thể sử dụng trong thực tế.

Về phương pháp bảo quản lạnh và vật liệu cách nhiệt sử dụng trên tàu cá cũng có nhiều công bố. Le Duc Trung [7] đã giới thiệu tổng quan về tổn thất sau thu hoạch và đề xuất giải pháp hạn chế tổn thất trong đánh bắt cá. Tác giả đã phân tích các hạn chế hiện tại của công tác bảo quản trên tàu cá Việt Nam. Trên cơ sở đó, nghiên cứu đã giới thiệu một số kỹ thuật tiên tiến như sử dụng thùng chứa bảo ôn chuyên dụng, hệ thống CSW hoặc băng tuyết mà các nước phát triển đang ứng dụng nhằm giảm thiểu tổn

thất sau thu hoạch. Wibawa, P.A. và cộng sự [8] cho rằng lợi ích kinh tế mà ngư dân có thể thu được chủ yếu phụ thuộc vào chất lượng sản phẩm đánh bắt của họ. Phương pháp bảo quản cá phổ biến nhất trên các tàu đánh cá truyền thống ở Indonesia là đá khối. Đó đó, nhóm tác giả đã nghiên cứu hiệu quả của phương pháp bảo quản cá bằng đá vảy so với đá khối bằng phần mềm SimaPro. Nuzuli Fitriadi và cộng sự [9] đã nghiên cứu sử dụng vật liệu xơ dừa và Polyurethane để cách nhiệt cho hầm bảo quản trên tàu cá truyền thống. Kết quả cho thấy hầm bảo quản cá làm bằng vật liệu cách nhiệt xơ dừa có thể duy trì nhiệt độ lạnh trong kho lâu hơn 5-7 ngày so với các sản phẩm thương mại trên thị trường. Đánh giá lợi ích của việc sử dụng chất làm lạnh tự nhiên trong chuỗi lạnh hải sản ở Ấn Độ đã được Santosh Kumar Saini và cộng sự thực hiện [10]. Theo đó, toàn bộ các chuỗi làm lạnh được nghiên cứu, từ khâu thu hoạch cá, vận chuyển, phân loại, chế biến và bảo quản lâu dài. Trong nghiên cứu của Muhammad Abidin và cộng sự [11], vật liệu cách nhiệt trong hầm lạnh tàu cá được sử dụng là trấu (rice husk) thay cho xốp truyền thống (styrofoam). Kết quả cho thấy trong thời gian 24 giờ, tổn thất nhiệt của trấu gần tương đương với xốp. Ngoài ra, một số nghiên cứu về cách nhiệt và phòng cháy chữa cháy cho tàu biển và các công trình ngoài khơi cũng đã được công bố, như Yizhou Jiang và cộng sự [12], Pierre Mertiny and David Therrien [13].

Ariany và cộng sự [14] đã nghiên cứu phát triển hệ thống cách nhiệt trên khoang cá bằng cách sử dụng giấy thải để cải thiện chất lượng đánh bắt. Mục tiêu chính của nghiên cứu này là cung cấp và sản xuất vật liệu thay thế cho hệ thống cách nhiệt khoang hàng tàu đánh cá truyền thống, giá rẻ, hiệu quả, bền và thân thiện với môi trường bằng cách sử dụng giấy thải (cellulose). Yanuar và cộng sự [15] đã nghiên cứu vật liệu cách nhiệt superlon sử dụng cho hầm bảo quản trên tàu cá. Ba mô hình hầm bảo quản được thử nghiệm đo nhiệt độ gồm: sử dụng vật liệu superlon, không sử dụng superlon và sử dụng mùn cưa. Kết quả cho thấy hầm sử dụng vật liệu cách nhiệt superlon có khả năng giữ nhiệt tốt hơn nhiều so với 2 trường hợp còn lại. Ngoài ra, tài liệu “Insulation Guide Marine

& Offshore” [16] đã giới thiệu cụ thể về tính an toàn, bền vững và tiện nghi của các loại vật liệu cách nhiệt sử dụng trên tàu và công trình ngoài khơi. Một số nghiên cứu khác đề cập đến ảnh hưởng của phương pháp làm lạnh đến chất lượng hải sản [17-19].

Về bài toán truyền nhiệt và thiết kế, chế tạo hầm hoặc kho bảo quản lạnh, các nghiên cứu chủ yếu giới thiệu về truyền nhiệt và bảo quản lạnh cho các loại kho lạnh, tủ lạnh,... với các kiểu kết cấu vách và vật liệu khác nhau. Omkar Padave và cộng sự [20] đã thiết kế hộp bảo quản cá sử dụng trên các tàu cá cỡ nhỏ. Doni Syafar Pramudya và cộng sự [21] đã thiết kế một kho lạnh có dung tích 430m^3 , được làm từ vật liệu cách nhiệt Polyurethane, thép không gỉ và thạch cao. Achmad Fatchur Utama và cộng sự [22] đã thiết kế lớp cách nhiệt cho khoang cá của tàu cá Indonesia, trọng tải 5 Gross. Phạm Thanh Nhứt và cộng sự [23] đã tính toán tổn thất nhiệt cho một hầm bảo quản cá trên tàu vỏ composite. Ngoài ra, nhiều tài liệu khác cũng đề cập đến tính toán, thiết kế kho lạnh, vách cách nhiệt như [24-32].

Qua các phân tích các nghiên cứu trên cho thấy vai trò quan trọng của việc đánh giá tổn

thất nhiệt để làm cơ sở đề xuất các giải pháp nhằm nâng cao hiệu quả bảo quản lạnh cho tàu cá Việt Nam nói chung và tàu cá vỏ composite nói riêng.

II. PHƯƠNG PHÁP, ĐỐI TƯỢNG VÀ CƠ SỞ NGHIÊN CỨU

1. Phương pháp nghiên cứu

Bài báo này chủ yếu sử dụng phương pháp nghiên cứu lý thuyết và thực nghiệm. Cụ thể như sau:

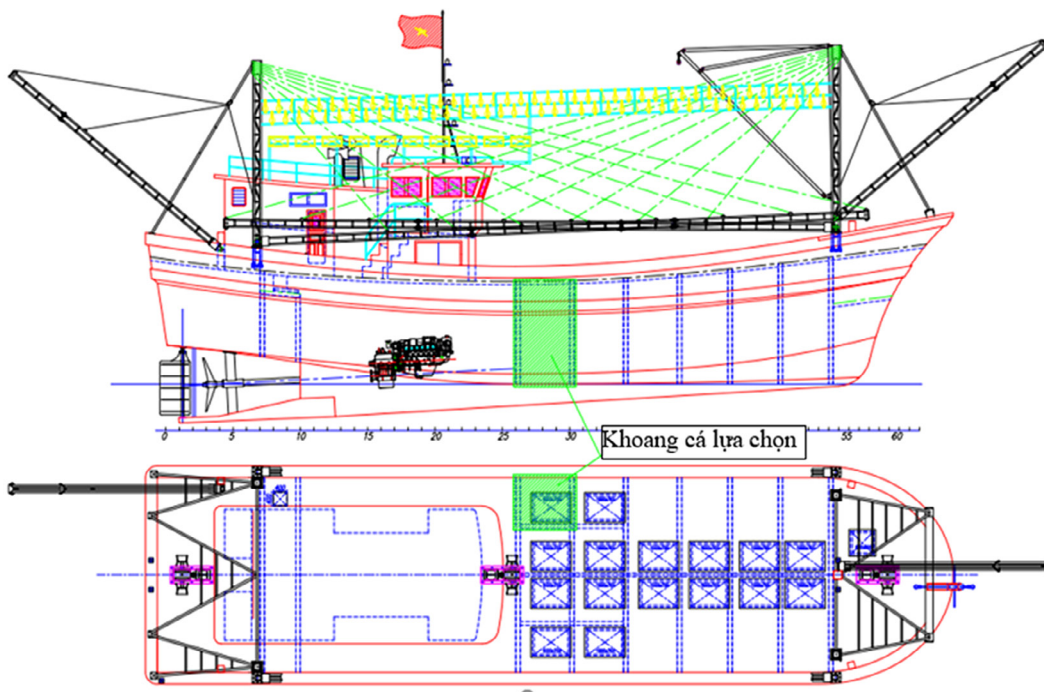
- Tính toán tổn thất nhiệt cho 01 mô hình hầm bảo quản lạnh trên tàu cá vỏ composite dựa trên các tài liệu sẵn có, trên cơ sở đó tính toán lượng đá tan theo thời gian chuyển biến.

- Thực nghiệm khảo sát lượng tổn thất nhiệt (thông qua lượng đá tan) của 01 mô hình hầm bảo quản.

- Đánh giá kết quả tính toán, thực nghiệm và đề xuất giải pháp nâng cao hiệu quả bảo quản lạnh trên tàu cá vỏ composite trên phương diện kết cấu của hầm.

2. Đối tượng nghiên cứu

Khoang cá trên tàu cá vỏ composite nghề mảnh chụp như Hình 1 và có các thông số cơ bản được cho trong Bảng 1.



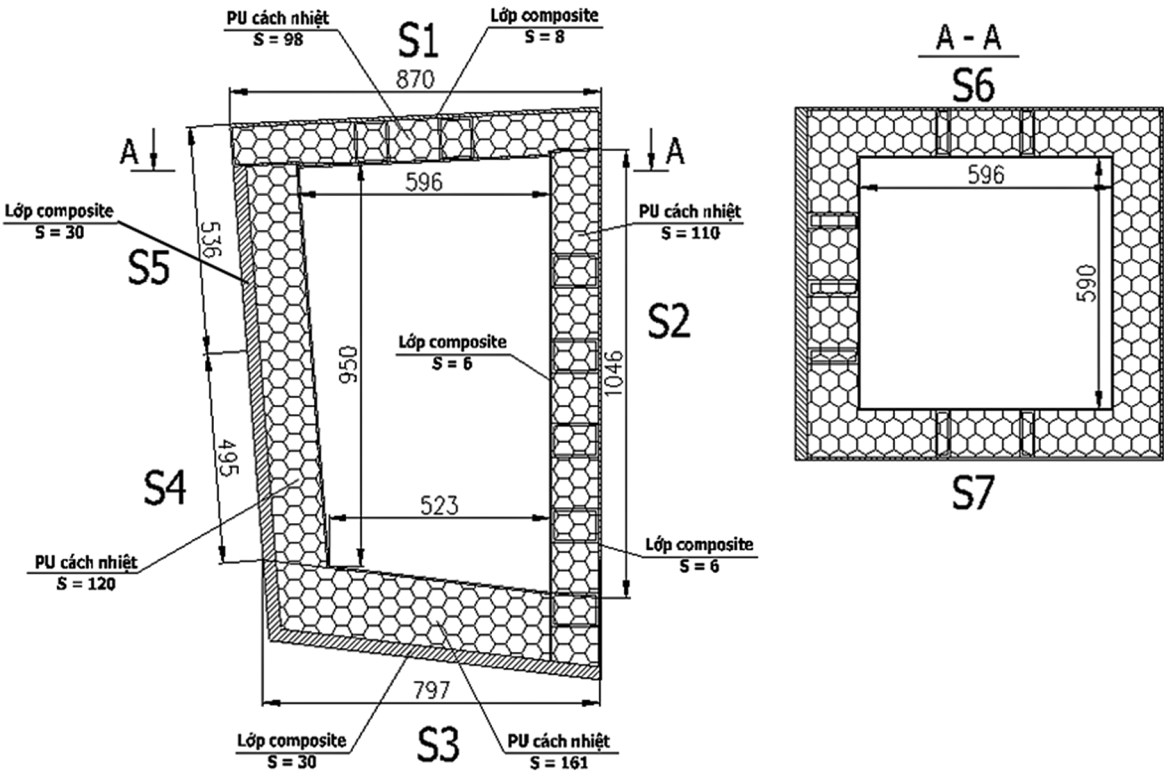
Hình 1. Tàu cá vỏ composite và khoang cá lựa chọn để nghiên cứu

Bảng 1: Các thông số cơ bản của tàu lựa chọn tính toán

TT	Thông số	Ký hiệu	Đơn vị	Giá trị
1	Chiều dài lớn nhất	$L_{\max}$	m	24,0
2	Chiều rộng lớn nhất	$B_{\max}$	m	6,5
3	Chiều cao mạn	H	m	3,5
4	Chiều cao boong	D	m	3,05
5	Chiều chìm trung bình	d	m	1,72
6	Lượng chiếm nước	W	m ³	156,6
7	Công suất máy chính	Ne	HP	822
8	Số lượng hầm cá	-	Hầm	7

Theo lý thuyết truyền nhiệt [32], để đảm bảo lượng tổn nhiệt tương ứng đồng nhất giữa hầm thực thể và mô hình, mô hình khoang cá được thiết kế thu nhỏ 2 lần so với khoang cá

thực tế về kích thước tổng thể, chiều dày các kết cấu vách hầm được giữ nguyên. Hình dáng và kích thước mô hình khoang cá được thể hiện trên Hình 2.



Hình 2. Kích thước mô hình khoang cá

Bảng 2: Quy cách và hệ số dẫn nhiệt của các chi tiết kết cấu hầm mô hình

STT	Lớp vật liệu	Độ dày (mm)	Hệ số dẫn nhiệt λ (W/m.K)
1	Lớp composite vỏ boong	8	0,25
2	Lớp PU cách nhiệt boong	98	0,02
3	Lớp composite cách ẩm	6	0,25
4	Lớp composite vỏ vách ngang và dọc	6	0,25
5	Lớp PU cách nhiệt vách	110	0,02
6	Lớp composite vỏ đáy	30	0,25
7	Lớp polyurethane cứng đáy	161	0,02
8	Lớp composite vỏ mạn	30	0,25
9	Lớp PU cách nhiệt mạn	120	0,02
10	Lớp composite xà ngang, dọc boong	5	0,25
11	Lớp composite sườn mạn	7	0,25
12	Lớp composite nếp vách	5	0,25
13	Lớp composite đà ngang đáy	7	0,25

Quy cách và hệ số dẫn nhiệt (λ) của các chi tiết kết cấu hầm mô hình được thể hiện ở Bảng 2.

Với kích thước hầm như trên, mô hình hầm chứa được khối lượng đá là 302kg (thể tích hầm chứa 80% đá khi đi biển). Nhiệt độ trong hầm đảm bảo duy trì ở 0°C. Thời gian chuyển biến được tính cho 30 ngày. Trong 30 ngày thử nghiệm nhiệt độ ngoài trời có thể khác nhau. Tuy nhiên phần ngâm trong nước biển nhiệt độ không thay đổi, phần tiếp xúc với ánh nắng mặt trời không đáng kể, hơn nữa tổn thất nhiệt do qua kết cấu bao che cũng thấp nên hầu như không ảnh hưởng đến kết quả đo giữa các ngày trong chuyển biến.

3. Cơ sở tính toán tổn thất nhiệt cho hầm bảo quản trên tàu cá vỏ composite

Trên cơ sở sử dụng phương pháp tính toán nhiệt cho kho lạnh bảo quản hải sản [32], tổn thất nhiệt Q của hầm bảo quản cá được xác định theo công thức:

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 \quad (W) \quad (1)$$

Trong đó:

+ Q_1 : Dòng nhiệt đi qua kết cấu bao che của hầm (W), bao gồm dòng nhiệt qua thành vách xung quanh do chênh lệch nhiệt độ (cả 6 mặt của hầm) và dòng nhiệt do ảnh hưởng của bức xạ mặt trời (mặt boong và mạn tàu phần trên

mướn nước);

+ Q_2 : Dòng nhiệt do sản phẩm tỏa ra trong quá trình xử lý lạnh (W);

+ Q_3 : Dòng nhiệt từ các nguồn khác nhau khi vận hành hầm (W), bao gồm dòng nhiệt do mở nắp hầm và dòng nhiệt do người vận hành gây ra.

4. Cơ sở tính toán lượng đá tan trong hầm theo nhiệt độ và thời gian bảo quản

Lượng đá tan được tính toán cho trường hợp hầm chứa 80% đá, nhiệt độ bên ngoài là 35°C. Theo [32], khối lượng đá tan trong hầm (M_d) được xác định theo công thức:

$$M_d = Q_d / r \quad (kg) \quad (2)$$

Trong đó: Q_d : tổng lượng nhiệt hầm bảo quản nhận vào làm cho đá tan chảy (kJ), được xác định theo công thức:

$$Q_d = Q \times \tau \quad (kJ) \quad (3)$$

Với: Q là tổn thất nhiệt xác định ở công thức (1) (kJ), τ là thời gian bảo quản (s).

III. KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU VÀ THẢO LUẬN

1. Kết quả tính toán tổn thất nhiệt của hầm bảo quản

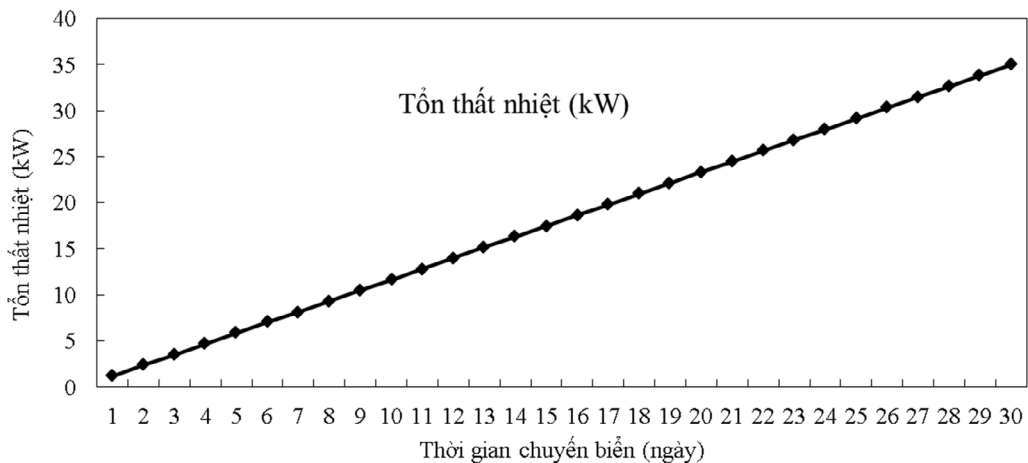
Kết quả tính toán tổn thất nhiệt và lượng đá tan trong hầm mô hình được thể hiện ở Bảng 3 và Hình 3, Hình 4.

Bảng 3: Tổn thất nhiệt và khối lượng đá tan trong hầm mô hình

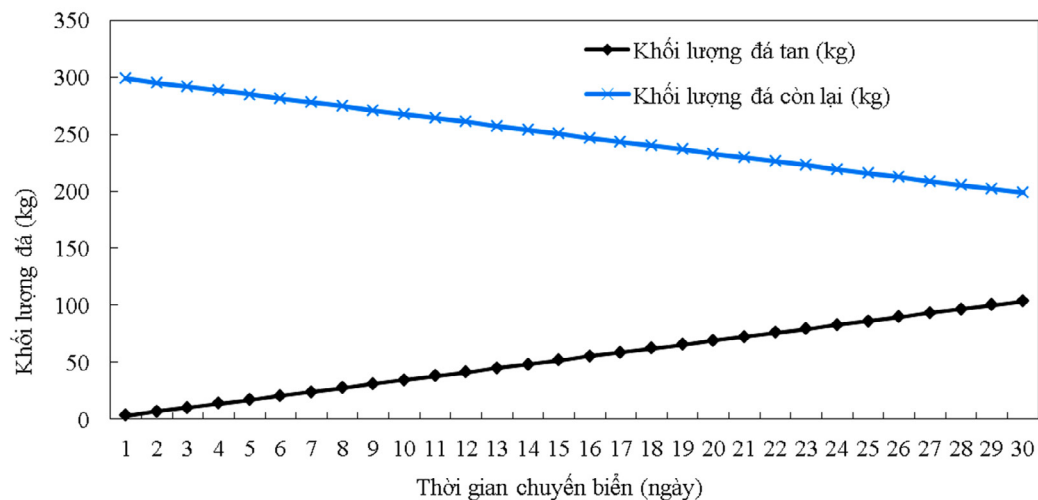
- 80% đá cây trong hầm tương ứng 302kg

- Nhiệt độ trong hầm: $t_{\text{hầm}} = 0^{\circ}\text{C}$; nhiệt độ không khí: $t_{\text{kk}} = 35^{\circ}\text{C}$, nhiệt độ nước: $t_{\text{n}} = 25^{\circ}\text{C}$

STT	Thời gian chuyển biến (ngày)	Q_1+Q_3 (kW)	Khối lượng đá tan	Khối lượng đá còn lại,	% đá tan
			m_{dt} (kg)	m_{dc} (kg)	
1	1	1,165	3,5	298,6	1,1
2	2	2,330	6,9	295,1	2,3
3	3	3,495	10,4	291,7	3,4
4	4	4,660	13,8	288,2	4,6
5	5	5,826	17,3	284,8	5,7
6	6	6,991	20,7	281,3	6,9
7	7	8,156	24,2	277,9	8,0
8	8	9,321	27,6	274,4	9,1
9	9	10,487	31,1	271,0	10,3
10	10	11,652	34,5	267,5	11,4
11	11	12,817	38,0	264,1	12,6
12	12	13,982	41,4	260,6	13,7
13	13	15,148	44,9	257,2	14,9
14	14	16,313	48,3	253,7	16,0
15	15	17,478	51,8	250,3	17,1
16	16	18,643	55,2	246,8	18,3
17	17	19,809	58,7	243,4	19,4
18	18	20,974	62,1	239,9	20,6
19	19	22,139	65,6	236,5	21,7
20	20	23,304	69,0	233,0	22,8
21	21	24,470	72,5	229,6	24,0
22	22	25,635	75,9	226,1	25,1
23	23	26,800	79,4	222,7	26,3
24	24	27,965	82,8	219,2	27,4
25	25	29,131	86,3	215,8	28,6
26	26	30,296	89,7	212,3	29,7
27	27	31,461	93,2	208,9	30,8
28	28	32,626	96,6	205,4	32,0
29	29	33,791	100,1	202,0	33,1
30	30	34,957	103,5	198,5	34,3



Hình 3. Tổn thất nhiệt của mô hình hầm cá



Hình 4. Khối lượng đá tính toán trong mô hình hầm cá

2. Chế tạo mô hình hầm bảo quản và kết quả thử nghiệm

Kết quả chế tạo hầm mô hình được thể hiện ở Hình 5.



a. Chế tạo khuôn



b. Trát lớp composite



c. Tạo gân gia cường



d. Tạo kết cấu sandwich



đ. Chế tạo nắp hầm



e. Hầm hoàn thiện

Hình 5. Chế tạo mô hình hầm cá

Kết quả thử nghiệm hầm mô hình cá với 80% thể tích chứa đá cây (tương ứng với khối lượng 302kg), thời gian đo lượng đá tan sau mỗi 24 giờ được thể hiện ở Bảng 4 và sơ đồ Hình 6.

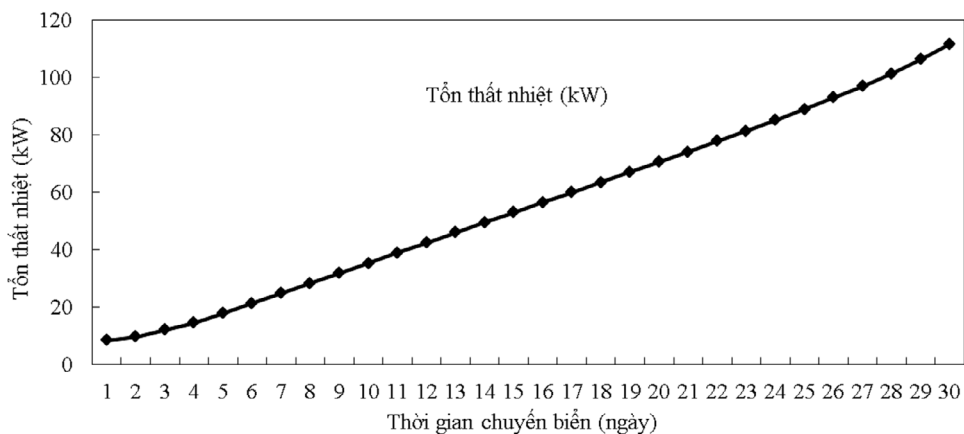
Bảng 4: Kết quả đo lượng đá tan trong hầm mô hình

- 80% đá cây trong hầm tương ứng 302kg

- Nhiệt độ trong hầm: $t_{\text{hầm}} = 0^{\circ}\text{C}$; nhiệt độ không khí: $t_{\text{kk}} = 35^{\circ}\text{C}$, nhiệt độ nước: $t_{\text{n}} = 25^{\circ}\text{C}$

STT	Thời gian chuyển biến (ngày)	Khối lượng đá tan m_{dt} (kg)	Khối lượng đá còn lại, m_{dc} (kg)	% đá còn lại
1	1	8,3	293,7	2,7
2	2	9,5	292,5	3,1
3	3	11,9	290,1	3,9
4	4	14,3	287,7	4,7
5	5	17,7	284,4	5,8
6	6	21,2	280,9	7,0
7	7	24,7	277,3	8,2
8	8	28,2	273,8	9,3
9	9	31,7	270,3	10,5
10	10	35,2	266,8	11,7
11	11	38,8	263,3	12,8
12	12	42,3	259,8	14,0
13	13	46,0	256,1	15,2
14	14	49,4	252,6	16,4
15	15	52,9	249,2	17,5
16	16	56,3	245,7	18,6
17	17	59,9	242,2	19,8
18	18	63,4	238,6	21,0

STT	Thời gian chuyển biển (ngày)	Khối lượng đá tan	Khối lượng đá còn lại,	% đá còn lại
		m_{dt} (kg)	m_{dc} (kg)	
19	19	66,9	235,1	22,2
20	20	70,5	231,5	23,3
21	21	73,9	228,1	24,5
22	22	77,7	224,3	25,7
23	23	81,3	220,7	26,9
24	24	85,0	217,0	28,1
25	25	88,8	213,2	29,4
26	26	92,9	209,1	30,8
27	27	96,8	205,2	32,1
28	28	101,3	200,7	33,5
29	29	106,3	195,7	35,2
30	30	111,5	190,5	36,9



Hình 6. Khối lượng đá đo được trong mô hình hầm cá

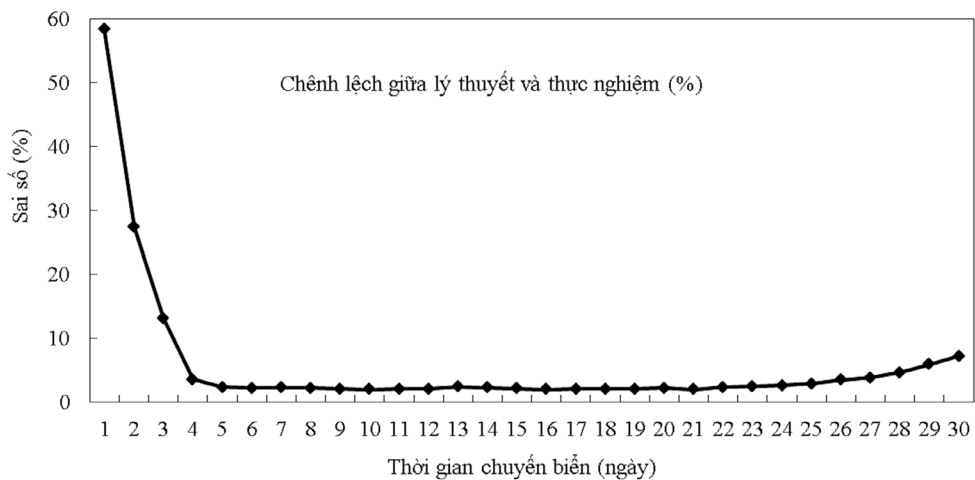
3. Sai số giữa kết quả tính toán lý thuyết và thực nghiệm

Sai số giữa kết quả tính toán lý thuyết và thực nghiệm được thể hiện ở Bảng 5 và Hình 7.

Bảng 5: Sai số giữa kết quả tính toán lý thuyết và thực nghiệm

STT	Thời gian chuyển biển (ngày)	Khối lượng đá tan theo tính toán (kg)	Khối lượng đá tan theo thực nghiệm (kg)	Sai số (%)
1	1	3,5	8,3	58,4
2	2	6,9	9,5	27,4
3	3	10,4	11,9	13,0
4	4	13,8	14,3	3,5
5	5	17,3	17,7	2,3
6	6	20,7	21,2	2,1

STT	Thời gian chuyển biển (ngày)	Khối lượng đá tan theo tính toán (kg)	Khối lượng đá tan theo thực nghiệm (kg)	Sai số (%)
7	7	24,2	24,7	2,2
8	8	27,6	28,2	2,1
9	9	31,1	31,7	2,1
10	10	34,5	35,2	2,0
11	11	38,0	38,8	2,1
12	12	41,4	42,3	2,0
13	13	44,9	46,0	2,4
14	14	48,3	49,4	2,2
15	15	51,8	52,9	2,1
16	16	55,2	56,3	2,0
17	17	58,7	59,9	2,0
18	18	62,1	63,4	2,1
19	19	65,6	66,9	2,0
20	20	69,0	70,5	2,1
21	21	72,5	73,9	2,0
22	22	75,9	77,7	2,3
23	23	79,4	81,3	2,4
24	24	82,8	85,0	2,6
25	25	86,3	88,8	2,9
26	26	89,7	92,9	3,4
27	27	93,2	96,8	3,8
28	28	96,6	101,3	4,6
29	29	100,1	106,3	5,9
30	30	103,5	111,5	7,2



Hình 6. Sai số giữa kết quả tính toán lý thuyết và thực nghiệm

4. Thảo luận

Kết quả tính toán tổn thất nhiệt ở Hình 3 cho thấy lượng nhiệt tổn thất của mô hình hầm cá có dạng tuyến tính. Lượng nhiệt tổn thất thấp nhất tại ngày thứ nhất (1,165kW), sau đó lượng nhiệt tổn thất tăng dần từ ngày 1 đến ngày 30 ứng với lũy kế tăng mỗi ngày là 1,165kW. Lượng nhiệt tổn thất đạt giá trị cao nhất tại ngày thứ 30 với 34,957kW.

Kết quả tính toán khối lượng đá tan trong mô hình hầm cá ở Hình 4 cho thấy cũng có dạng tuyến tính. Khối lượng đá tan đạt giá trị thấp nhất tại ngày thứ nhất với 3,5kg (chiếm tỷ lệ 1,1% tổng khối lượng đá trong hầm), sau đó khối lượng đá tan tăng dần từ ngày 1 đến ngày 30 ứng với lũy kế tăng mỗi ngày là 3,45kg. Khối lượng đá tan đạt giá trị cao nhất tại ngày thứ 30 với 103,5kg (chiếm tỷ lệ 34,3% tổng khối lượng đá trong hầm). Như vậy, khối lượng đá tan trong mô hình hầm cá đạt hơn 1/3 tổng khối lượng đá trong hầm sau thời gian một chuyến biển 30 ngày.

Kết quả thực nghiệm đo đạc khối lượng đá tan trong mô hình hầm cá ở Bảng 4 và Hình 5 cho thấy có dạng tăng tương đối tuyến tính từ ngày thứ 5 đến ngày thứ 21, từ ngày 1 đến ngày 4 và từ ngày 22 đến ngày thứ 30 tăng ở dạng phi tuyến khá rõ. Khối lượng đá tan đạt giá trị thấp nhất tại ngày thứ nhất với 8,3kg (chiếm tỷ lệ 2,7% tổng khối lượng đá trong hầm), sau đó khối lượng đá tan tăng dần từ ngày 1 đến ngày 30. Khối lượng đá tan đạt giá trị cao nhất tại ngày thứ 30 với 111,5kg (chiếm tỷ lệ 36,9% tổng khối lượng đá trong hầm).

Kết quả so sánh chênh lệch khối lượng đá tan giữa tính toán lý thuyết và thực nghiệm ở Hình 6 cho thấy tất cả các giá trị thực nghiệm đều cao hơn lý thuyết và chênh nhau không đáng kể (khoảng 2,0% đến 2,1%). Điều này là do hầm được chế tạo có thể không hoàn toàn đúng với thiết kế. Mặt khác, nắp hầm thực tế cũng không

thể kín tuyệt đối như lý thuyết. Vì vậy lượng nhiệt có thể tổn thất cao hơn so với lý thuyết. Trong 4 ngày đầu, đặc biệt là ngày đầu tiên, khối lượng đá tan chiếm tỷ lệ rất cao (58,4%) so với giai đoạn từ ngày thứ 5 đến ngày thứ 21 là do một lượng lớn nhiệt từ đá tổn thất qua toàn bộ kết cấu của hầm nên lượng đá tan chảy nhiều hơn. Từ ngày thứ 5 đến ngày thứ 21, nhiệt độ trong hầm đã ổn định nên khối lượng đá tan hàng ngày khá đều. Từ ngày thứ 22 trở đi, lúc này lượng đá còn lại trong hầm giảm khá nhiều trong khi thể tích hầm không thay đổi nên lượng đá tan chảy cũng nhiều hơn bình thường.

IV. KẾT LUẬN

Đánh giá hiệu quả bảo quản lạnh của hầm cá tàu vỏ composite là vấn đề quan trọng trong bối cảnh chất lượng sản phẩm sau thu hoạch chưa được như kỳ vọng. Việc chế tạo và thử nghiệm mô hình hầm bảo quản cá góp phần nâng cao độ tin cậy của bài toán tổn thất nhiệt.

Kết quả tính toán lượng tổn thất nhiệt của mô hình hầm cá của tàu lựa chọn cho kết quả khá tương đồng với kết quả nghiên cứu từ tài liệu [23]. Quy luật thay đổi khối lượng đá tan trong hầm theo lý thuyết và thực nghiệm từ ngày thứ nhất đến ngày thứ 30 là khác nhau không đáng kể, chỉ khác nhau ở một số ngày đầu và ngày cuối. Nhìn chung, khối lượng đá tan trong mô hình hầm cá đạt hơn 1/3 tổng khối lượng đá trong hầm sau thời gian chuyến biển 30 ngày.

Từ kết quả nghiên cứu như trên, để tiết kiệm đá bảo quản trong hầm, chuyến biển nên được thiết kế trong khoảng 3 tuần. Ngoài ra, để nâng cao độ tin cậy của kết quả của bài toán cần tiếp tục nghiên cứu thực nghiệm trên hầm cá thực tế và thực hiện trên một số kết cấu hầm khác nhau.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Nguyễn Trí Ái, Nguyễn Như Sơn (2019), “Hiện trạng công nghệ bảo quản sản phẩm trên tàu cá xa bờ các tỉnh phía Nam”, *Tạp chí Khoa học Công nghệ và Thực phẩm*, No. 18(2), pp. 110-121.
2. Michael Shawyer and Avilio F. Medina Pizzali (2003), “The use of ice on small fishing vessels”, *Food and Agriculture Organization of the United Nations*.
3. Tổng cục Thủy sản (2019), “Tài liệu hướng dẫn kỹ thuật: Quy trình bảo quản sản phẩm trên tàu khai thác hải sản xa bờ”, *Bộ Nông nghiệp và Phát triển Nông thôn*.
4. Xiaochao Liu, Dazheng Wang, Lei Mei and Qiang Ma (2020), “Equivalent Research on Main Components of FRP Fishing Boat”, *Materials Science and Industrial Applications II*, Vol. 1001, pp. 121-126.
5. Romadhoni, B Santoso and P Nasution (2021), “Analysis Strength Structure Fishing Vessel of Composite Sandwich Plate System Using Finite Element Method”, *Earth and Environmental Science*, No. 695.
7. Pham-Thanh Nhut, Dinh Duc Tien and Quang Thang Do (2024), “Evaluating deformation in FRP boat: Effects of manufacturing parameters and working conditions”, *Journal of the Mechanical Behavior of Materials*, Vol. 33.
8. Le Duc Trung (2017), “Postharvest losses of fisheries in vietnam an overview and some solutions”, *Journal of Technical Education Science*, No. 43, pp. 47-54.
9. Wibawa, P.A., Birmingham R.W., Warmadewanthi I.D.A.A (2022), “Comparing Life Cycle Assessment of Fish Preservation Method on Fishing Vessels in Indonesia”. *Earth and Environmental Science*, No. 1095.
10. Nuzuli Fitriadi, Balkhaya, Herdi Susanto (2023), “Cocopeat insulated cold storage performance on traditional fishing boats”, *American Institute of Physics Conference Series*.
11. Santosh Kumar SAINI, Mani Sankar DASGUPTA, Kristina N. WIDELL, Souvik BHATTACHARYYA (2022). “Assessment of benefits of employing natural refrigerants in seafood cold chain in India”, *15th IIR-Gustav Lorentzen conference on Natural Refrigerants*.
12. Muhammad Abidin, Alam Baheeramsyah, Ede Mehta Wardhana (2018), “Cooling System Design for Cold Storage of Traditional Fishing Boat Using Insulation from Rice Husk”, *International Journal of Marine Engineering Innovation and Research*, Vol 3(1), pp. 34-39.
13. Yizhou Jiang, Duanfeng Han and Ziwei Zhang (2017), “Research of flammability of fireproof materials in ship safety”, *Materials Science and Engineering*, No. 230.
14. Pierre Mertiny and David Therrien (2015), “Characterization of composite thermal insulation for marine riser structures”, *ASME 2015 Pressure Vessels and Piping Conference*.
15. Ariany, Zulfaidah, Said, Solichin Djazuli, Hartono (2018), “The Development of Thermal Insulation System on Fish Cargo Hold by Utilizing Paper Waste (Cellulose) for Improving Catch Quality”, *Advanced Science Letters*, Vol. 24, No. 12, pp. 9886-9889.
16. Yanuar, Marcus Alberth Talahatu, Wiwin Sulistyawati, Sealtial Mau and Fajri Ashfi Rayhan (2018), “Thermal Investigation of an Economical Cold Storage with Superlon Insulation for Fishing Boat”, *7th Engineering International Conference on Education*, pp. 5-8.
17. Saint Gobain ISOVER (2021), “Insulation guide marine & offshore: For safe, comfortable and sustainable ships”, *Technical Manual - Marine & Offshore*.
18. Santosh Kumar Saini, Mani Sankar Dasgupta, Kristina Norne Widell, Souvik Bhattacharyya (2019), “Thermal and economic analysis of an on-board compensatory refrigeration system for small fishing boats”, *The 25th National and 3rd International ISHMT-ASTFE Heat and Mass Transfer Conference*.
19. Valentina Ruiz (2012), “Analysis of existing refrigeration plants onboard fishing vessels and improvement possibilities”, *Second International Symposium on Fishing Vessel Energy Efficiency E-Fishing*.
20. Tibor Jan'ci, Tonka Gauta, Predrag Putnik, Danijel Kanski and Mario Lovrinov (2023), “Influence of Fish Handling Practices Onboard Purse Seiners on Quality Parameters of Sardines (*Sardina pilchardus*) during Cold Storage”, *Biomolecules*, Vol. 13, No. 192.
21. Omkar Padave, Bhavesh Patil, Sahil Patil, Kashish Shah (2023), “Design of cold storage for the fishing boat”, *VIVA-Tech International Journal for Research and Innovation*, Vol.1, Issue 6, No. 30, pp. 1-6.
22. Doni Syafar Pramudya, Agus Sunjarianto Pamitran, Ardiyansyah and Muhammad Arif Budiyananto (2024), “Design and calculation of cold storage capacity of 10 tons for tuna commodity”, *Maritime Technology and Research*, Vol. 6(2)

23. Achmad Fatchur Utama, Muhammad Hanzalah Huzaifi, Muhammad Arif Budiyanto, Hadi Tresno Wibowo (2021), "Preliminary Design of Fish Hold Insulation on the 5 Gross Tonnage Fishing Boat", *2nd International Conference on Information Technology, Advanced Mechanical and Electrical Engineering*.
24. Phạm Thanh Nhựt, Trịnh Văn Bình, Trần Đình Tứ (2022), "Xác định lượng tổn thất nhiệt và đề xuất giải pháp nâng cao hiệu quả bảo quản lạnh trên tàu cá vỏ composite", *Tạp chí Khoa học - Công nghệ Thủy sản*, Số 4/2022, pp. 42-50.
25. John L. Farley (1956), "Cold storage design refrigeration equipment", *Refrigeration of fish – Part 1*.
26. Amrit Tiwari (2019), "Design of Cold Storage oith Calculation of Cooling Load Item: Seed Potatoes", *Department of Mechanical Engineering, IOE Pulchowk Campus*.
27. AGPI, AARON DALE T. (2017), "Structure for fhe Total Product Load of Mushroom", *Southern Luzon State University*.
28. Madison Cooper (2009), "Practical cold storage: the theory, design and construction of buildings and apparatus for the preservation of perishable products, approved methods of applying refrigeration and the care and handling of eggs, fruit, dairy products, etc", *Cornell University*.
29. Peter von Böckh and Thomas Wetzel (2012), "Heat Transfer: Basics and Practice", *Karlsruhe Institute of Technology*.
30. John H. Lienhard (2000), "Heat Transfer Textbook", *University of Houston*.
31. YUNUS A. ÇENGEL and AFSHIN J. GHAJAR (2020), "Heat and Mass Transfer: Fundamentals and Applications", *McGraw-Hill Education*.
32. Thanh-Nhut Pham, Quoc Tien Le, Quang Thang Do (2024), "Experimental and numerical investigations of multi-layered ship engine room bulkhead insulation thermal performance under fire conditions", *Curved and Layered Structures*, Vol. 11, Issue 1, pp. 20240006.
33. Nguyễn Đức Lợi (2006), "Hướng dẫn thiết kế hệ thống lạnh", *NXB Khoa học và Kỹ thuật*.