

# THIẾT KẾ, CHẾ TẠO THIẾT BỊ SẤY THỦY SẢN BẰNG CÔNG NGHỆ CHÂN KHÔNG KẾT HỢP VI SÓNG

## DESIGN AND MANUFACTURING OF AQUARIUM DRYING EQUIPMENT USING VACUUM AND MICROWAVE TECHNOLOGY

Huỳnh Văn Thọ, Lê Như Chính, Nguyễn Văn Phúc

Khoa Cơ khí, Trường đại học Nha Trang

Tác giả liên hệ: Huỳnh Văn Thọ, Email: thaohv@ntu.edu.vn

Ngày nhận bài: 15/05/2024; Ngày phân biện thông qua: 22/06/2024; Ngày duyệt đăng: 25/09/2024

### TÓM TẮT

Bài báo trình bày kết quả nghiên cứu chế tạo thiết bị sấy thủy sản trong môi trường chân không kết hợp nguồn nhiệt vi sóng. Kết quả nghiên cứu đã chế tạo được thiết bị sấy chân không vi sóng với các thông số, năng suất sấy 2kg/mẻ, sử dụng nguồn nhiệt từ tia vi sóng có công suất 1000W công suất vi sóng có thể điều chỉnh từ 100W đến 1000W và kết hợp với môi trường chân không để ngăn quá trình oxy hóa, diệt khuẩn và tăng động lực thoát ẩm của vật liệu sấy, môi trường chân không có thể đạt 270 Pa, thiết bị ngưng ẩm có công suất 1,0 HP. Được trang bị tự động hóa sử dụng các thiết bị đo lường nhiệt độ, độ ẩm, áp suất để điều khiển thiết bị.

**Từ khóa:** Sấy thủy sản, chân không vi sóng, sấy tôm, sấy mực

### ABSTRACT

This article presents results on research and manufacturing of a seafood-drying device using a vacuum environment combined with a microwave heat source. We produced a microwave vacuum drying device with parameters of a 2kg/batch drying capacity, using a heat source from a microwave with a capacity of 1000W. The device's microwave power can be adjusted from 100W to 1000W, combined with a vacuum environment to prevent oxidation and sterilization and increase the moisture removal rate of dried materials. The device can reach a vacuum environment of 270 Pa. The dehumidifying device has a capacity of 1.0 HP. Moreover, this device is equipped with automation that uses temperature, humidity, and pressure measuring devices to control the device.

**Keywords:** Seafood drying, vacuum microwave, shrimp drying, squid drying

### I. ĐẶT VẤN ĐỀ

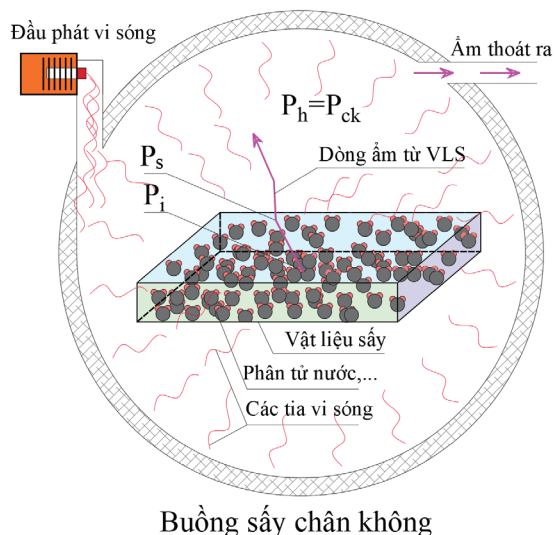
Ngành công nghiệp chế biến thực phẩm đang chứng kiến những bước tiến vượt bậc nhờ vào sự phát triển không ngừng của khoa học kỹ thuật, đặc biệt là trong lĩnh vực bảo quản thực phẩm. Việc ứng dụng công nghệ sấy khô đã trở nên phổ biến, nhằm mục đích kéo dài thời gian bảo quản cho nhiều loại sản phẩm từ nông sản đến thủy sản. Các phương pháp sấy khác nhau có thể kể đến như sấy không khí nóng, sấy lạnh bơm nhiệt, và sấy chân không thăng hoa,... Mỗi phương pháp sấy mang lại những ưu điểm riêng biệt nhưng không tránh khỏi các hạn chế như quá trình oxi hóa, mất chất dinh dưỡng và sự biến đổi màu sắc sản phẩm sấy, chi phí đầu tư cao, thời gian sấy kéo dài làm tăng chi phí năng lượng đồng thời làm tăng giá thành sản phẩm sấy khô [10-14].

Hiện nay, phương pháp sấy vi sóng, sử dụng cơ chế biến đổi năng lượng điện từ thành nhiệt thông qua ma sát giữa các phân tử nước, đã trở thành giải pháp đầy tiềm năng. Đã có nhiều nghiên cứu chứng minh tính hiệu quả của công nghệ này trong việc sấy khô đa dạng sản phẩm như ngũ cốc, trái cây, rau củ và thủy sản, không chỉ bởi tốc độ sấy nhanh mà còn bởi sự tiện lợi trong quá trình vận hành [2], [3]. Tuy nhiên, một thách thức lớn trong quá trình sấy vi sóng là việc kiểm soát nhiệt độ để ngăn chặn tình trạng biến màu hoặc cháy sản phẩm. Vấn đề này đã thúc đẩy sự kết hợp giữa công nghệ vi sóng và môi trường chân không, mục tiêu là tăng hiệu quả thoát ẩm và hạn chế tối đa quá trình oxi hóa, từ đó nâng cao chất lượng sản phẩm sấy [7], [8], [15].

Dù công nghệ sấy vi sóng chân không đã

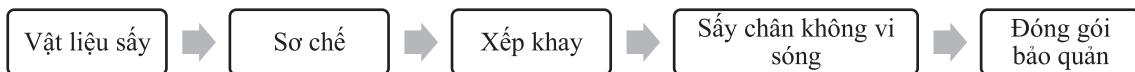
được nghiên cứu và ứng dụng tại Việt Nam, sự chú trọng đến lĩnh vực thủy sản vẫn còn hạn chế [9]. Trong bối cảnh thực tế hiện nay, việc phát triển thiết bị sấy chân không vi sóng (CKVS) cho thủy sản không chỉ là một hướng nghiên cứu tiềm năng mà còn là một nhu cầu cấp thiết, góp phần vào việc giảm chi phí năng lượng, giảm giá thành sản phẩm và đáp ứng nhu cầu bảo quản thực phẩm hiệu quả.

Động lực thoát ẩm của phương pháp sấy CKVS được thể hiện như Hình 1.1



Hình 1.1. Quá trình thoát ẩm tại buồng CKVS.

Môi trường sấy  $P_{ck}$  được hút hết không khí tạo áp suất thấp làm cho ẩm từ bề mặt vật liệu  $P_s$  truyền sang môi trường chân không nhanh hơn, kết hợp với tia vi sóng chiếu vào bên trong



Hình 2.1. Quy trình sấy thực nghiệm.

## 2.4. Phương pháp tính và chọn các thiết bị [1]

### 2.4.1. Kích thước khay sấy được xác định theo

$$F_{ks} = \frac{G_1}{a \cdot \delta \cdot \rho} \quad 2.1$$

Từ diện tích khay sấy chọn kích thước buồng sấy chân không.

### 2.4.2. Tính tải nhiệt chọn thiết bị phát vi sóng

Nhiệt tải của thiết bị sấy CKVS bao gồm các nguồn nhiệt:

VLS làm cho các phân tử nước dao động và sinh nhiệt tăng áp suất làm cho dòng ẩm dễ di chuyển từ  $P_i$  đến  $P_s$  và ra  $P_{ck}$  nhanh hơn so với các phương pháp sấy bình thường.

## II. ĐỐI TƯỢNG VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

### 2.1. Đối tượng nghiên cứu

Đối tượng nghiên cứu là thiết bị sấy chân không cấp nhiệt bằng vi sóng

### 2.2. Phạm vi nghiên cứu

Nghiên cứu thiết kế chế tạo thiết bị sấy CKVS để sấy thủy sản

### 2.3. Phương pháp nghiên cứu

Phương pháp nghiên cứu được sử dụng trong nghiên cứu là phương pháp nghiên cứu lý thuyết và phương pháp nghiên cứu thực nghiệm.

- Phương pháp nghiên cứu lý thuyết được áp dụng để phân tích tổng hợp tài liệu liên quan trong và ngoài nước, từ đó đưa ra cơ sở để chọn sơ đồ, cơ sở tính toán thiết kế thiết bị, cơ sở tính chọn buồng sấy, bơm hút chân không và nguồn nhiệt vi sóng.

- Nghiên cứu thực nghiệm được sử dụng cùng với kết quả phần nghiên cứu lý thuyết để thiết kế hồ sơ thiết bị sấy chân không cấp nhiệt bằng vi sóng.

- Thực nghiệm trong gia công, lắp đặt chế tạo thiết bị sấy CKVS, đo đạc và hiệu chuẩn các thông số.

- Quy trình sấy thực nghiệm thủy sản được thực hiện theo sơ đồ Hình 2.1

- Nhiệt làm nóng sản phẩm sấy

$$Q_1 = G_1 \cdot C \cdot \Delta t \quad 2.2$$

- Nhiệt lượng cung cấp cho quá trình ẩm bay hơi

$$Q_2 = G_1 \cdot r \quad 2.3$$

- Nhiệt làm nóng khay sấy

$$Q_3 = m_{ks} \cdot C_{ks} \cdot (t_s - t_{mt}) \quad 2.4$$

- Nhiệt tổn thất qua vách buồng sấy

$$Q_4 = k \cdot F_v \cdot (t_s - t_{mt}) \quad 2.5$$

Tổng nhiệt lượng cung cấp cho quá trình sấy

$$Q_t = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 \quad 2.6$$

### 2.4.3. Tính toán thiết bị ngưng tụ đóng băng ẩm

- Lưu lượng ẩm thoát ra khỏi VLS trong một mẻ sấy

$$W = G_1 \cdot \frac{W_1 - W_2}{100 - W_2} \quad 2.7$$

- Nhiệt lượng cần lấy đi để đóng băng ẩm thoát ra khỏi VLS

$$Q_{nt} = k \cdot (Q_{01} + Q_{02} + Q_{03}) \quad 2.8$$

+ Nhiệt lượng làm lạnh không khí ẩm thoát ra khỏi VLS đến nhiệt độ ngưng kết

$$Q_{01} = W \cdot C_{01} \cdot (t_s - t_{dk}) \quad 2.9$$

+ Nhiệt lượng cung cấp cho quá trình chuyển pha đóng băng ẩm

$$Q_{02} = W \cdot r_{02} \quad 2.10$$

+ Nhiệt lượng quá lạnh băng trong thiết bị

$$Q_{03} = W \cdot C_{pi} \cdot (t_{dk} - t_{ql}) \quad 2.11$$

+ Diện tích trao đổi nhiệt của thiết bị ngưng tụ đóng băng ẩm

$$F_{nt} = \frac{Q_{nt}}{k \cdot \Delta t_{tb}} \quad 2.12$$

### 2.4.4. Tính chọn cụm máy nén làm lạnh

- Lưu lượng môi chất tuần hoàn trong hệ thống lạnh

$$m_{mcl} = \frac{Q_o}{h_1 - h_4} \quad 2.13$$

- Thể tích lưu lượng thực tế của MCL qua máy nén

$$V_{tt} = m_{mcl} \cdot v_1 \quad 2.14$$

- Công suất nén chỉ thị

$$N_{ct} = m_{mcl} \cdot (h_2' - h_1) \quad 2.15$$

- Tổn thất do ma sát

$$N_{ms} = \frac{P_{ms} - v_{tt}}{1000} \quad 2.16$$

- Công suất điện tiêu thụ của máy nén

$$N_{mm} = k \cdot \frac{N_{ct} + N_{ms}}{\eta_i} \quad 2.17$$

### 2.4.5. Tính chọn bơm chân không

- Năng suất lưu lượng bơm chân không:

$$N_b = \beta_1 \cdot \beta_2 \cdot \frac{V}{\tau_{bd}} \cdot \ln \left( \frac{B - P_{gh}}{P_{th} - P_{gh}} \right) \quad 2.18$$

- Công suất động cơ bơm chân không được

xác định:

$$N_{deck} = \beta \frac{\Delta P_b \cdot N_b}{1000 \cdot \eta_h \cdot \eta_{ck} \cdot \eta_v} \quad 2.19$$

## III. KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU VÀ THẢO LUẬN

### 3.1. Các thông số đầu vào cho tính toán thiết kế

Đối tượng là sấy thủy sản nên có nhiều loại vật liệu sấy (VLS) như tôm, mực, cá... Trong nghiên cứu này chúng tôi chọn đối tượng sấy là tôm sú để tính toán thiết kế hệ thống sấy CKVS.

- Nguyên liệu: tôm sú

- Năng suất: 2 kg/mê

- Nhiệt độ VLS ban đầu sau khi sơ chế:  $t_{bd} = 20^{\circ}\text{C}$

- Nhiệt độ vật liệu trong quá trình sấy cao nhất:  $t_s = 60^{\circ}\text{C}$

- Nhiệt độ ngưng tụ:  $t_k = 45^{\circ}\text{C}$

- Nhiệt độ bay hơi:  $t_o = -15^{\circ}\text{C}$

- Độ quá nhiệt,  $\Delta t_{qn} = 3^{\circ}\text{C}$

- Độ ẩm ban đầu  $W_1 = 74\%$

- Độ ẩm cuối  $W_2 = 20\%$

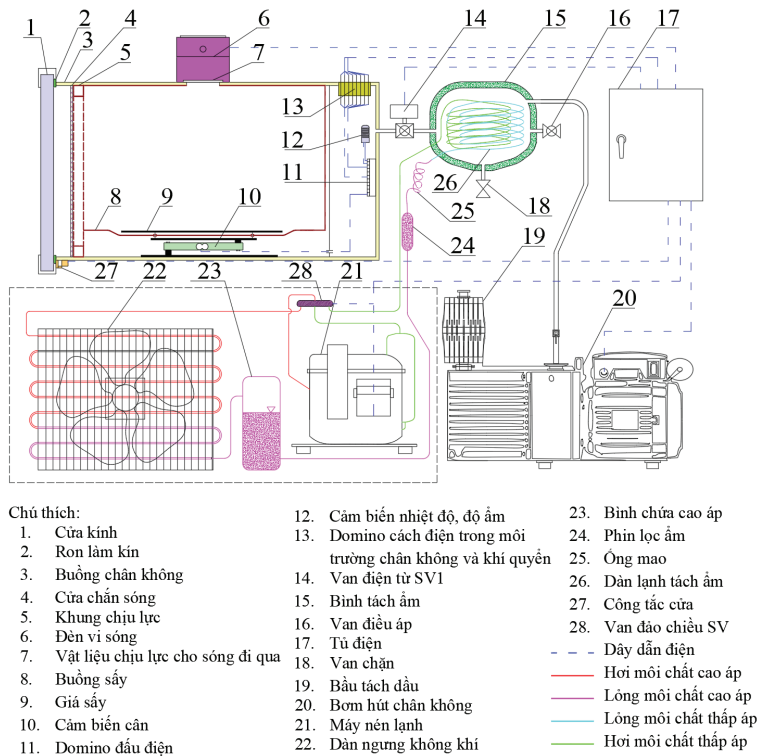
- Thời gian sấy 1,5h

### 3.2. Sơ đồ nguyên lý của thiết bị sấy

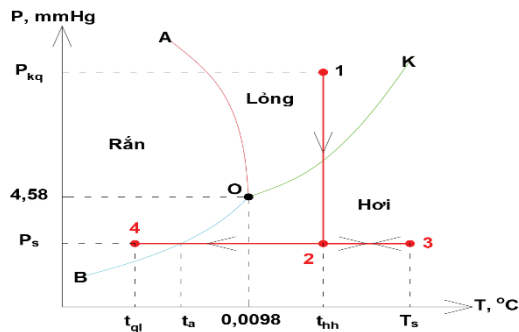
Qua quá trình nghiên cứu lý thuyết và thực nghiệm lắp đặt thiết bị, vận hành thử nghiệm ở nhiều dạng sơ đồ liên quan đến bố trí các thiết bị: tách ẩm, bộ phát vi sóng,... sau khi phân tích ưu nhược điểm của các dạng sơ đồ nguyên lý thì nhóm nghiên cứu đã chọn thiết bị sấy CKVS cấp nhiệt bằng vi sóng được thể hiện ở Hình 3.1.

Sau khi VLS được đưa vào buồng sấy, bơm chân không hoạt động làm giảm áp suất trong buồng sấy, từ đó làm giảm áp suất riêng phần hơi nước có trong không khí ẩm trong buồng sấy. Điều này thúc đẩy quá trình khuếch tán hơi ẩm từ bên trong vật liệu ra môi trường xung quanh diễn ra nhanh hơn. Bên cạnh đó, vi sóng thâm nhập vào bên trong VLS, nâng cao nhiệt độ và độ ẩm bên trong, sự tăng nhiệt này cũng tăng cường quá trình khuếch tán hơi ẩm từ trong ra ngoài, giúp hơi ẩm di chuyển ra khỏi VLS một cách dễ dàng hơn.

Hơi ẩm thoát ra từ VLS sau đó được bơm chân không hút ra và đi qua bình tách ẩm, hay



Hình 3.1. Sơ đồ nguyên lý thiết bị sấy chân không cấp nhiệt bằng vi sóng.



Hình 3.2. Đồ thị biến đổi pha của nước.

còn gọi là bình đóng băng ẩm. Trong bình này, hơi ẩm thoát ra từ sản phẩm được đông kết ẩm trên bề mặt của dàn lạnh. Không khí sau khi qua bình đóng băng ẩm sẽ tiếp tục được hút ra ngoài bởi bơm chân không. Cuối cùng, lượng ẩm ngưng kết được xả đông và loại bỏ khỏi hệ thống sau mỗi mẻ sấy, nhờ vào chức năng đảo chiều của hệ thống lạnh (bơm nhiệt).

Để nâng cao hiệu quả và tuổi thọ của bơm chân không vòng dầu, việc lắp đặt thiết bị tách dòng không khí ẩm trước khi hút về bơm là rất quan trọng. Thiết bị đóng băng ẩm được tính

toán như mục 2.4.3 và mô tả Hình 3.2.

Quá trình 1 – 2 là quá trình hút chân không giảm áp suất, 2 – 3 là quá trình gia nhiệt vi sóng tăng nhiệt độ, 3 – 4 là quá trình ẩm đi vào bình đóng băng ẩm.

### 3.3. Kết quả tính toán thiết kế, chế tạo thiết bị

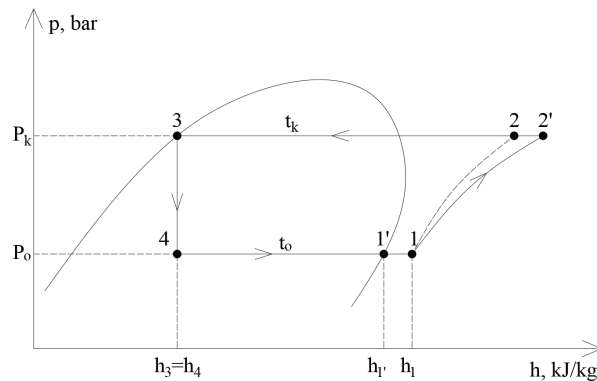
#### 3.3.1. Kết quả tính toán, chọn thiết bị

Với các thông số đầu vào và phương pháp tính chọn thiết bị như mục 2.4 máy và thiết bị được chọn có thông số kỹ thuật thể hiện ở Bảng 3.1

**Bảng 3.1. Kết quả tính toán, thiết kế và chọn thiết bị**

Stt	Tên thiết bị	Kết quả tính toán	Kết quả chọn thiết bị và thông số kỹ thuật
1	Buồng sấy chân không	$F_{ks} = 0,28 \text{ m}^2$ $V_b = 0,05 \text{ m}^3$	- Kích thước buồng: $L \times R \times H = 0,485 \times 0,385 \times 0,275 \text{ m}$ . - Thể tích buồng sấy $V_b = 0,05 \text{ m}^3$ .
2	Nhiệt tải thiết bị vi sóng	$Q_t = 5234,48 \text{ kJ}$ , với $Q_1 = 333 \text{ kJ}$ , $Q_2 = 4818 \text{ kJ}$ , $Q_3 = 6,6 \text{ kJ}$ , $Q_4 = 76,88 \text{ kJ}$ ,	- Model: 2M261-M32,[17] - Công suất 1000W - Tần số: 2450 MHz
3	Thiết bị ngưng tụ đóng băng ẩm	$Q_{nt} = 3368,48 \text{ kW}$ , với $Q_{01} = 148 \text{ kJ}$ , $Q_{02} = 3216 \text{ kJ}$ , $Q_{03} = 4,482 \text{ kJ}$ $F = 0,27 \text{ m}^2$	- Đường kính $D = 250\text{mm}$ - Chiều cao $H = 340\text{mm}$ - Ống xoắn có $D = 155\text{mm}$ , đường kính ống xoắn $D = 12\text{mm}$ , chiều dài vòng xoắn 8 m.
4	Cụm máy nén làm lạnh – bơm nhiệt	$Q_o = 0,74 \text{ kW}$ $m = 0,008 \text{ kg/s}$ $N_{mn} = 0,5 \text{ kW}$	- Model: CAJ3510ZMHR-AJ2 - Công suất: 1Hp - Môi chất lạnh: R404A
5	Bơm chân không	$N_b = 15,3 \text{ m}^3/\text{h}$ $N_{deck} = 0,58 \text{ kW}$	- Model: E2M28 - Công suất: 0,75kW - Lưu lượng 32,3 m <sup>3</sup> /h - Áp suất chân không $7,4 \times 10^{-4} \text{ Torr}$

Với các thông số trạng thái của hệ thống lạnh sử dụng môi chất R404A, hiệu suất máy nén  $\eta = 0,7$  được thể hiện như hình 3.3 và bảng 3.2



**Hình 3.3. Chu trình làm lạnh của MCL R404A trên đồ thị Lgp-h.**

**Bảng 3.2. Thông số trạng thái các điểm nút của chu trình lạnh sử dụng môi chất R404A**

Điểm nút \ Thông số	Áp suất, p, bar	Nhiệt độ, t, °C	Entropy, s, kJ/kgK	Enthalpy, h, kJ/kg	Thể tích riêng, v, m <sup>3</sup> /kg
1	0,36	-12	0,8322	212,9	0,0549
2	20,45	54,5	0,8322	247,9	0,0095
2'	20,45	66,4	0,877	262,9	0,0105
3	20,45	45	0,433	120,8	0,0010
4	3,6	-15	0,474	120,8	0,0273

Sau khi tính toán chọn thiết bị, thiết kế thiết bị tiến hành chế tạo và lắp đặt.

### 3.3.2. Chế tạo lắp đặt thiết bị

#### a. Chế tạo thiết bị

Để chế tạo và lắp đặt thiết bị sấy CKVS dựa trên sơ đồ nguyên lý hệ thống, các thông số đầu vào và kết quả tính toán, tính chọn từ Bảng 3.1 nhóm nghiên cứu đã thiết lập bản vẽ kỹ thuật

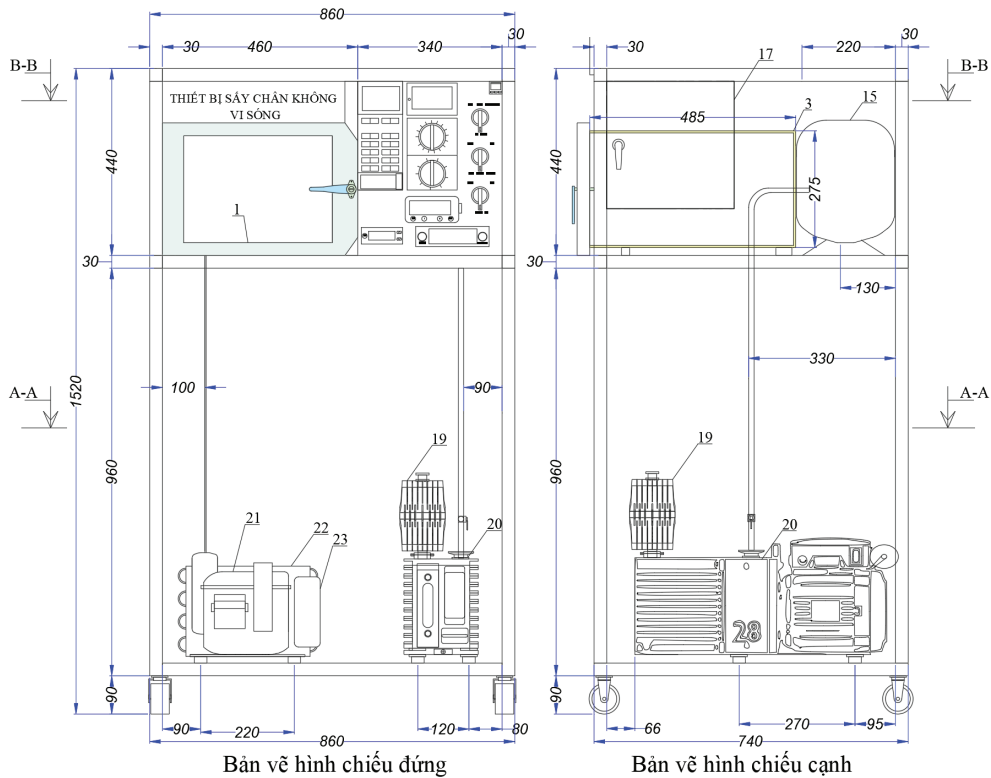
thiết bị sấy như Hình 3.4. Kết quả của quá trình chế tạo là một thiết bị sấy CKVS có kích thước 1520 mm x 860 mm x 740 mm.

Để thuận tiện cho thao tác sấy và điều khiển chúng tôi chia thiết bị làm 2 tầng, tầng phía trên chứa buồng sấy, thiết bị tách ẩm, thiết bị điều khiển và thiết bị đo..., tầng dưới được bố trí các thiết bị nặng hơn như bơm chân không

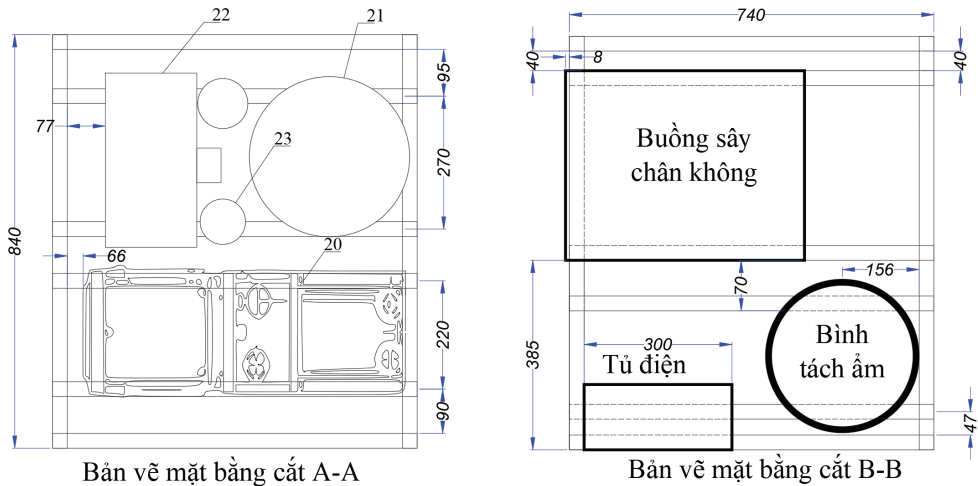
và hệ thống lạnh được bố trí chi tiết như Hình 3.4a.

Chi tiết vị trí lắp đặt các thiết bị được bố trí cụ thể như Hình 3.4b

Sau khi lắp đặt các thiết bị theo sơ đồ nguyên lý và theo bản vẽ thiết kế tiến hành trang bị động hóa thiết bị.



Hình 3.4a. Bản vẽ hình chiếu thiết bị sấy CKVS.



Hình 3.4b. Bản vẽ mặt cắt thiết bị sấy CKVS.



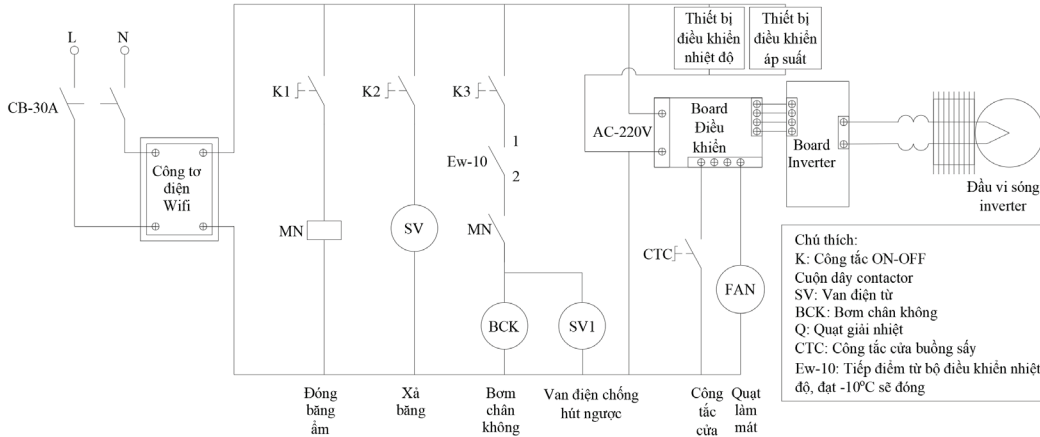
**b. Trang bị tự động hóa thiết bị**

Hệ thống điện điều khiển của thiết bị sấy được trang bị như Hình 3.5 với thiết bị giám sát năng lượng tiêu hao bằng công tơ điện wifi, đồng thời thiết bị nguồn phát sóng được lắp đặt bằng công nghệ inverter để điều khiển mức công suất phát vi sóng theo yêu cầu.

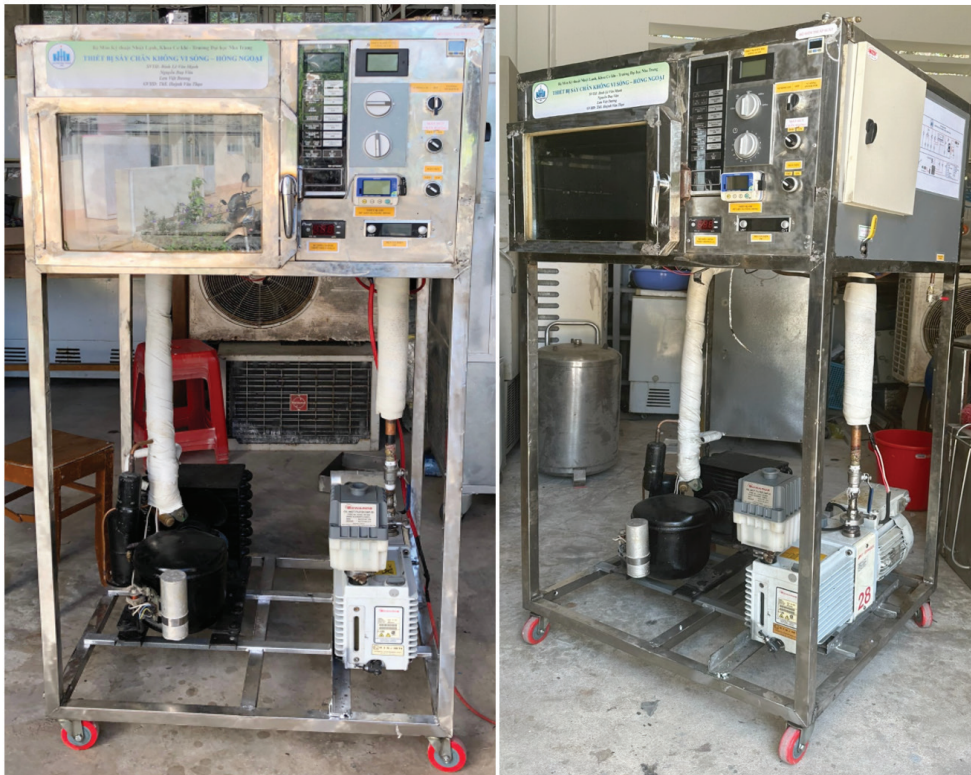
Hệ thống sấy CKVS được vận hành theo nguyên tắc làm lạnh thiết bị tách ẩm, khi thiết

bị tách ẩm đạt nhiệt độ dưới  $-10^{\circ}\text{C}$  thì Ew-10 đóng tiếp điểm thì mới vận hành bơm chân không, sau đó mới gia nhiệt vi sóng sau 1 mẻ sấy van SV sẽ được kích hoạt để xả băng cho thiết bị ngưng tụ đóng băng ẩm bằng bơm nhiệt, SV1 là van điện từ của bơm chân không ngăn không khí quay ngược lại buồng sấy.

Thiết bị sấy sau khi chế tạo lắp đặt được thể hiện như Hình 3.6



**Hình 3.5. Sơ đồ nguyên lý điện điều khiển thiết bị sấy CKVS.**



**Hình 3.6. Thiết bị sau khi chế tạo.**

### 3.4. Kết quả sấy thử nghiệm

#### 3.4.1. Kết quả sấy khô tôm

Tôm nguyên liệu sau khi rửa, xử lý bỏ đầu và nội tạng tiến hành luộc ở nhiệt độ 100°C trong thời gian 10 phút sau đó xếp khay và đưa vào buồng sấy chân không để tiến hành quá trình sấy. Trong quá trình này, áp suất được duy trì ở mức -0,85 bar và công suất vi sóng là 550W. Kết quả của quá trình sấy tôm sú với



Hình 3.7. Kết quả sấy thực nghiệm tôm sú bằng thiết bị sấy CKVS.

Ở áp suất -0,85bar công suất vi sóng 550W kết quả cho thấy sấy CKVS đạt 112 phút và sấy bơm nhiệt hồng ngoại là 390 phút, sấy gồm hồng ngoại thì đạt 480 phút [5], xét về mặt độ xốp và màu sắc thì phương pháp sấy CKVS rất ít co rút có độ xốp cao và màu sản phẩm như không đổi, như vậy có thể thấy phương pháp sấy chân không vi sóng có thời gian sấy nhanh giảm được hiện tượng teo bề mặt sản phẩm. So với phương pháp sấy chân không thăng hoa 720 phút thì sấy chân không vi sóng thời gian sấy ngắn hơn rất nhiều nên NLTH giảm đáng kể [4] nhưng về mặt cảm quan và độ xốp thì phương pháp sấy CKVS vẫn có độ co rút nhất định, sấy chân không thăng hoa màu sắt gần như không đổi.

#### 3.4.2. Kết quả sấy mực

Mực ống tươi sau khi được sơ chế, lột da và đưa vào buồng sấy với áp suất sấy được duy trì ở mức -0,95 bar và công suất vi sóng là 100W, trong thời gian sấy là 21 phút từ độ ẩm ban đầu là 82% xuống 20%. Kết quả của quá trình sấy là sản phẩm mực có màu sắc trắng sáng, mang mùi thơm đặc trưng của mực và vị ngọt, đặc biệt là mực sau khi sấy khô còn ở trạng thái

độ ẩm giảm từ 74% xuống còn 20%, và trong thời gian sấy là 112 phút. Đánh giá về mặt màu sắc, tôm có sắc tố cam và mang mùi vị ngọt đặc trưng, cũng như có cấu trúc xốp và dai. Mức độ co rút và độ xốp của tôm được ảnh hưởng bởi áp suất chân không: áp suất càng cao, thời gian sấy càng nhanh, nhưng đồng thời mức độ co rút cũng lớn hơn, kết quả này cũng được tài liệu [2-3] công bố.



Hình 3.8. Kết quả sấy thực nghiệm mực lột da bằng thiết bị sấy CKVS.

đều như các phương pháp sấy khác. Thay vào đó, mực trở nên giòn và có độ xốp rõ rệt, gần như không co rút trong quá trình sấy, tuy nhiên tùy theo chế độ sấy công suất vi sóng lớn thì trạng thái của sản phẩm bị biến đổi nhiều, bề mặt có thể bị cong vênh.

So với phương pháp sấy bơm nhiệt hồng ngoại thì thời gian sấy 938 phút đạt độ ẩm cuối 25% [6], như vậy cho thấy thời gian sấy bằng phương pháp CKVS giảm đi rất nhiều. Điều này thể hiện sự hiệu quả của việc gia nhiệt bằng tia vi sóng bên trong vật liệu và tạo áp suất thấp bên ngoài VLS, thúc đẩy quá trình khuếch tán nội làm cho dòng ẩm dễ dàng di chuyển từ bên trong VLS ra bên ngoài.

## IV. KẾT LUẬN

### 4.1. Kết luận

Nhóm nghiên cứu đã thành công trong việc thiết kế và chế tạo thiết bị sấy CKVS dành cho thủy sản, với năng suất 2kg/m<sup>3</sup> và thể tích buồng chân không là 0,05 m<sup>3</sup>. Thiết bị này cho phép điều chỉnh áp suất sấy thấp nhất là 270 Pa và công suất vi sóng từ 100W đến 1000W, bình ngưng tụ đóng băng âm hoạt động ổn định ở nhiệt độ -10°C



Kết quả thực nghiệm so sánh với các phương pháp sấy khác đã cho thấy phương pháp sấy CKVS mang lại nhiều lợi ích đáng kể như giúp rút ngắn thời gian sấy, giảm sự co rút của VLS, duy trì được mùi vị và màu sắc đặc trưng của sản phẩm. Tuy nhiên, trong một số trường hợp, đặc biệt là khi sấy các loại vật liệu có độ ẩm cao và cơ thịt mềm, phương pháp này có thể gặp khó khăn khi thoát ẩm. Hiện tượng này dẫn đến tăng áp suất trong vật liệu nhanh chóng, gây ra nguy cơ cong vênh, nổ bề mặt sản phẩm.

#### 4.2. Khuyến nghị

- Áp suất của thiết bị sấy chân không vi sóng có thể được giảm xuống thấp hơn nữa, nhưng do hiện tượng Plasma trong môi trường chân không kết hợp với tia vi sóng [16], nên thiết bị chỉ có thể vận hành ở mức áp suất chân không không nhỏ hơn -0,98 bar.

- Nghiên cứu sấy thực nghiệm trên nhiều đối tượng nông sản, thủy sản khác.

- Nghiên cứu sự ảnh hưởng của plasma trong sấy chân không vi sóng

- Nghiên cứu truyền nhiệt, truyền chất cho đối tượng thủy sản và nông sản khi sấy chân không vi sóng.

### TÀI LIỆU THAM KHẢO

#### TIẾNG VIỆT

1. Nguyễn Tấn Dũng (2020) *Kỹ thuật và công nghệ sấy thăng hoa*, NXB Đại học quốc gia Tp. Hồ Chí Minh.
2. Trần Tấn Hậu (2014), *Nghiên cứu động học và đánh giá phương pháp sấy chân không – vi sóng một số loại thực phẩm*, luận văn cao học, trường đại học Cần Thơ.
3. Trần Tấn Hậu, Nguyễn Ngọc Hoàng, Đặng Minh Tâm, Dương Thị Tú Anh (2018), *Nghiên cứu quá trình sấy tôm bằng phương pháp sấy chân không vi sóng*, Tạp chí Khoa học Công nghệ Nông nghiệp Việt Nam.
4. Nguyễn Văn Phúc, Nguyễn Nguyên An, Lê Như Chính (2023) *Thiết kế, chế tạo thiết bị sấy thăng hoa để sấy đông trùng hạ thảo và thủy sản*, Tạp chí Khoa học - Công nghệ thủy sản, trang 059-068
5. Nguyễn Văn Phúc, Lê Như Chính, Trần Thị Bảo Tiên, Lương Đức Vũ (2019) *Nghiên cứu thực nghiệm quá trình sấy tôm thẻ sử dụng thiết bị sấy vi sóng kết hợp với sấy lạnh*, Tạp chí Khoa học - Công nghệ thủy sản, trang 54-61
6. Phạm Văn Toàn (2019) *Nghiên cứu kỹ thuật sấy mực ống*, luận án tiến sĩ kỹ thuật, trường đại học Nông Lâm TP.HCM
7. Trần, Văn Tịnh (2017) *Thiết kế chế tạo và khảo nghiệm mô hình máy sấy chân không–vi sóng*. Trường Đại học Nông Lâm TP. Hồ Chí Minh.
8. Nguyễn Phan Thanh Trung, Nguyễn Thị Viên, (2011) *Tính toán, thiết kế, chế tạo và khảo nghiệm máy sấy phân hoa chân không vi sóng*, Trường đại học Nông Lâm Thành Phố Hồ Chí Minh.
9. Nguyễn Đình Uyên, Trần Văn Sư, Đào Quốc Hưng (2019) *Hướng ứng dụng công nghệ sấy vi sóng trong bảo quản, chế biến nông sản và thực phẩm*, Trung tâm Thông tin và thống kê Khoa học và Công nghệ.

#### TIẾNG ANH

10. Zhu, Y.; Zhang, L.; Lin, Z.; Zhang, Z.; Cao, Y.; Ru, H.; Yan, J.; Li, S.; Li, Z.(2021) *Effects of cold air dehydration on icefish water dynamics and macromolecular oxidation measured by low-field nuclear magnetic resonance and magnetic resonance imaging*, Food Sci. Nutr., 9, 736–746.
11. Ling, J.G.; Xuan, X.T.; Yu, N.; Cui, Y.; Shang, H.T.; Liao, X.J.; Lin, X.D.; Yu, J.F.; Liu, D.H. (2020) *High pressure-assisted vacuum-freeze drying: A novel, efficient way to accelerate moisture migration in shrimp processing*. J. Food Sci. 85, 1167–1176.
12. Zhang, J.; Fang, Z.; Cao, Y.; Xu, Y.; Hu, Y.; Ye, X.; Yang, W. (2013) *Effect of different drying processes on the protein degradation and sensory quality of Layú: A Chinese dry-curing grass carp*. Dry. Technol, 31, 1715–1722.
13. Liu, Z.Y.; Zhou, D.Y.; Zhou, X.; Yin, F.W.; Zhao, Q.; Xie, H.K.; Li, D.Y.; Zhu, B.W.; Wang, T.; Shahidi,

- F.(2018), *Effect of Various Hot-Air Drying Processes on Clam Ruditapes philippinarum Lipids: Composition Changes and Oxidation Development*. J. Food Sci, 83, 2976–2982.
14. Özkan-Karabacak, A.; Acoğlu, B.; Yolci Ömeroğlu, P.; Çopur, Ö.U (2020), *Microwave pre-treatment for vacuum drying of orange slices: Drying characteristics, rehydration capacity and quality properties*. J. Food Process. Eng. , 43, e13511.
15. Bai, Y.; Yang, Y.; Huang, Q. (2012) *Combined Electrohydrodynamic (EHD) and Vacuum Freeze Drying of Sea Cucumber*. Dry. Technol, 30, 1051–1055.
16. Lebedev, Yu A. (2015) *Microwave discharges at low pressures and peculiarities of the processes in strongly non-uniform plasma*. Plasma Sources Science and Technology 24.5
17. [https://elektrotanya.com/panasonic\\_nn-gf560m\\_sm.pdf/download.html](https://elektrotanya.com/panasonic_nn-gf560m_sm.pdf/download.html)

### Ký hiệu:

a – Hệ số khuếch tán, m <sup>2</sup> /s	t <sub>dk</sub> – Nhiệt độ đóng băng- ngưng tụ hơi nước, °C
W – Lưu lượng ẩm thoát ra khỏi VLS, kg/m <sup>2</sup>	t <sub>ql</sub> – Nhiệt độ quá lạnh, °C
W <sub>1</sub> , W <sub>c</sub> – Độ ẩm ban đầu và cuối của vật liệu, %	<b>C<sub>01</sub> – Nhiệt dung riêng đẳng áp của hơi nước quá nhiệt trong vùng nhiệt độ làm việc, kJ/kg.K</b>
g <sub>i</sub> – Khối lượng sản phẩm trên khay sấy, kg	C <sub>pi</sub> – Nhiệt dung riêng đẳng áp của băng quá lạnh trong vùng nhiệt độ làm việc, kJ/kg.K
ρ – Khối lượng riêng trung bình của VLS, kg/m <sup>3</sup>	Δt <sub>qn</sub> - Độ quá nhiệt, °C
V <sub>b</sub> – Thể tích của buồng sấy, m <sup>3</sup>	m <sub>mcl</sub> : lưu lượng môi chất qua máy nén, kg/s
G <sub>1</sub> – Khối lượng VLS ban đầu, kg	m <sub>ks</sub> : Khối lượng khay sấy, kg
Q <sub>o</sub> – Năng suất lạnh, kJ	V <sub>tt</sub> : thể tích thực tế, m <sup>3</sup> /s
Q <sub>1</sub> – Nhiệt làm nóng vật liệu sấy, kJ	N <sub>ct</sub> : Công suất nén chỉ thị, kW
Q <sub>2</sub> – Nhiệt lượng cung cấp cho quá trình bay hơi, kJ	N <sub>mn</sub> : Công suất điện tiêu thụ của máy nén, kW
Q <sub>3</sub> – Nhiệt làm nóng khay sấy, kJ	k - Hệ số truyền nhiệt của thiết bị ngưng tụ, W/m <sup>2</sup> K.
Q <sub>4</sub> – Nhiệt tổn thất qua vách buồng sấy, kJ	Δt <sub>tb</sub> - Chênh lệch nhiệt độ trung bình lôgarit, °C.
Q <sub>t</sub> – Tổng nhiệt lượng cung cấp cho quá trình sấy, kJ	τ <sub>bd</sub> - Thời gian đui hết khí trong buồng, h
Q <sub>nt</sub> – Nhiệt lượng để đóng băng ẩm thoát ra khỏi vật liệu sấy, kJ	B - Áp suất khí quyển, B = 760 mmHg
Q <sub>01</sub> – Nhiệt lượng làm lạnh không khí ẩm thoát ra khỏi VLS đến nhiệt độ đóng băng, kJ	P <sub>gh</sub> - Áp suất giới hạn mà bơm chân không có thể tạo ra, mmHg
Q <sub>02</sub> – Nhiệt lượng cung cấp cho quá trình chuyển pha đóng băng ẩm, kJ	P <sub>th</sub> - Áp suất làm việc của buồng sấy, mmHg
<b>Q<sub>03</sub> – Làm quá lạnh băng bên trong bình đóng băng ẩm, kJ</b>	P <sub>ms</sub> : Áp suất ma sát của máy nén, Pa
F <sub>v</sub> – Diện tích vách buồng sấy, m <sup>2</sup>	β <sub>1</sub> - Hệ số rò rỉ của buồng sấy, β <sub>1</sub> = 1,5
r <sub>02</sub> – Tổng nhiệt ẩn nhiệt ngưng kết ở suất làm việc, kJ/kg;	β <sub>2</sub> - Hệ số an toàn của bơm chân không, β <sub>2</sub> = 1,15
r - Ẩn nhiệt hóa hơi, kJ/kg;	β - Hệ số dự trữ, β = 1,2
τ - Thời gian sấy, h	N <sub>h</sub> - Năng suất bơm hút chân không, m <sup>3</sup> /h
β - Hệ số dự trữ	ΔP <sub>b</sub> - áp suất chân không cần tạo ra, Pa
t <sub>k</sub> - Nhiệt độ ngưng tụ, °C	η <sub>H</sub> - Hiệu suất thủy lực của bơm hút chân không, η <sub>H</sub> = 0,97
t <sub>o</sub> - Nhiệt độ bay hơi, °C	η <sub>v</sub> - Hiệu suất thể tích của bơm hút chân không, η <sub>v</sub> = 0,96
t <sub>s</sub> - Nhiệt độ buồng sấy, °C	η <sub>ck</sub> - Hiệu suất cơ khí của bơm hút chân không, η <sub>ck</sub> = 0,95
t <sub>mt</sub> - Nhiệt độ môi trường, °C	