

**BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO  
TRƯỜNG ĐẠI HỌC NÔNG LÂM TP. HCM**

---

**LÊ QUANG HUY**

**NGHIÊN CỨU KỸ THUẬT SẤY PHÂN HOA  
Ở VIỆT NAM**

Chuyên ngành: Kỹ Thuật Cơ Khí

Mã ngành : 62.52.14.01

**TÓM TẮT LUẬN ÁN TIẾN SĨ KỸ THUẬT**

TP. HỒ CHÍ MINH – Năm 2017

**Công trình được hoàn thành tại:**

- Trường Đại học Nông Lâm TP. Hồ Chí Minh
- Trường Cao đẳng Kỹ thuật Cao Thắng – TP. Hồ Chí Minh

**Người hướng dẫn khoa học:**

1. GS.TS Nguyễn Hay
2. GS.TSKH Trần Văn Phú

**Người phản biện**

1. ...
2. ...

**Luận án được bảo vệ trước Hội đồng đánh giá luận án cấp trường**

**Có thể tìm hiểu luận án tại:**

1. ...
2. ...
3. ...

## **DANH MỤC CÁC CÔNG TRÌNH CỦA TÁC GIẢ ĐÃ CÔNG BỐ LIÊN QUAN ĐẾN ĐỀ TÀI LUẬN ÁN**

1. GS.TSKH Trần Văn Phú, PGS.TS Nguyễn Hay, ThS Lê Quang Huy. Phương pháp mới xác định hệ số dẫn nhiệt và khuếch tán nhiệt các vật liệu ẩm. *Tạp chí Năng lượng nhiệt* số 121-01/2015, trang 10-12,16.
2. Nguyễn Hay và Lê Quang Huy. Thực nghiệm xác định các thông số nhiệt vật lý của phấn hoa. *Tạp chí Khoa học Kỹ thuật Nông Lâm nghiệp* số 01/ 2015, trang 6 - 12.
3. GS.TSKH Trần Văn Phú, GS.TS Nguyễn Hay, ThS Lê Quang Huy. Phương pháp xác định hệ số dẫn ẩm và khuếch tán ẩm của phấn hoa. *Tạp chí năng lượng nhiệt* số 128-03/2016, trang 16-20.
4. GS.TS Nguyễn Hay, ThS Lê Quang Huy. Nghiên cứu lý thuyết xác định thời gian sấy phấn hoa trong thiết bị sấy bơm nhiệt. *Tạp chí năng lượng nhiệt* số 135-5/2017, trang 28 – 32.

# MỞ ĐẦU

## 1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Việt Nam là một nước nhiệt đới có diện tích rừng tự nhiên rất lớn với thảm thực vật đa dạng, nguồn hoa phong phú, đây là nguồn thức ăn dồi dào cho ong mật, là tiền đề cho nghề nuôi ong.

Theo số liệu của hiệp hội nuôi ong ở Việt Nam, hiện nay cả nước ước tính có gần 1.500.000 đàn ong trong đó có 1.150.000 đàn ong ngoại và 350.000 đàn ong nội, sản lượng hàng năm ước đạt khoảng trên 70.000 tấn mật ong.

Phần hoa sau khi thu hoạch về có hàm lượng nước rất cao nên dễ bị lên men và bị thối rữa. Do vậy muốn phần hoa thành một sản phẩm thương mại đòi hỏi phải tiến hành làm khô và bảo quản trong một thời gian nhất định.

Qua khảo sát thực tế thì ở các cơ sở nuôi ong hiện nay vẫn chưa có các thiết bị tiên tiến để làm khô và bảo quản phần hoa. Người nuôi ong chủ yếu đem phần hoa thu được ra phơi khô ngoài nắng, hoặc đưa vào sấy trong các lò sấy thủ công, đốt nóng bằng than, củi. Với phương pháp này, phần hoa không đảm bảo được tiêu chuẩn chất lượng, mất đi những giá trị quý giá vốn có của nó, đồng thời tiềm ẩn nguy cơ gây hại cho sức khỏe người tiêu dùng.

Với mong muốn đưa ra công nghệ và thiết bị sấy phần hoa thích hợp nhằm khắc phục cách làm thủ công, đảm bảo chất lượng vốn quý của chúng và nâng cao hiệu quả kinh tế trong việc khai thác chế biến và bảo quản phần hoa, chúng tôi đã chọn đề tài **“Nghiên cứu kỹ thuật sấy phần hoa ở Việt Nam”**.

## 2. MỤC TIÊU CỦA ĐỀ TÀI

Với đề tài đã chọn chúng tôi tập trung giải quyết năm mục tiêu cụ thể sau đây:

- Nghiên cứu bản chất công nghệ thiết bị sấy phần hoa ở Việt Nam và thế giới, từ đó đề xuất thiết bị sấy phần hoa phù hợp trong điều kiện tại Việt Nam.

- Nghiên cứu bản chất truyền nhiệt truyền chất của vật liệu ẩm, đề xuất một phương pháp mới đồng thời xác định hệ số dẫn nhiệt, hệ số khuếch tán nhiệt, nhiệt dung riêng cho vật liệu ẩm nói chung và cho phần hoa nói riêng để làm cơ sở cho tính toán thiết kế TBS.

- Từ mô hình toán lý thuyết cho truyền ẩm theo nghiên cứu của Dincer và Hussain, xây dựng một thuật toán để thực nghiệm xác định đồng thời hệ số truyền ẩm, hệ số khuếch tán ẩm của phần hoa.

- Trên cơ sở phương pháp tương tự của Trần Văn Phú, đề xuất xây dựng thuật toán xác định thời gian sấy để tính toán thiết kế với TBS đã đề xuất.

- Bằng qui hoạch thực nghiệm trên thiết bị sấy thiết kế chế tạo, xác định các thông số công nghệ đạt chất lượng và hiệu quả kinh tế phù hợp với thực tế sản xuất phần hoa tại Việt Nam và xuất khẩu.

## 3. GIÁ TRỊ KHOA HỌC, THỰC TIỄN VÀ ĐIỂM MỚI CỦA ĐỀ TÀI.

### 3.1. Giá trị khoa học

Trên cơ sở nghiên cứu lý thuyết quá trình truyền nhiệt truyền chất trong các vật liệu ẩm. Chúng tôi đề xuất một phương pháp mới cho phép đồng thời xác định hệ số dẫn nhiệt, hệ số khuếch tán nhiệt, nhiệt dung riêng của vật liệu ẩm nói chung và của phần hoa nói riêng ở một nhiệt độ, độ ẩm trung bình ban đầu nào đó. Cơ sở toán học của phương pháp do chúng tôi đề xuất là hai nghiệm giải tích gần đúng của bài toán dẫn nhiệt trong nửa tấm

phẳng một chiều với điều kiện biên loại 2 đối xứng khi Fourier đủ bé. Phương pháp này cho phép tìm mối quan hệ giữa hệ số dẫn nhiệt, hệ số khuếch tán nhiệt và nhiệt dung riêng với độ ẩm và nhiệt độ:  $\lambda = f(\omega, t)$ ,  $a = f(\omega, t)$ ,  $c = f(\omega, t)$ . Kiểm chứng lý thuyết đã xây dựng bằng thực nghiệm cho thấy kết quả là chấp nhận được.

Đóng góp thứ 2 về mặt lý thuyết là chúng tôi đề xuất thuật toán đồng thời xác định hệ số dẫn ẩm  $h_m = f(v, t)$  và hệ số khuếch tán ẩm  $a_m = f(v, t)$  của phân hoa để từ đó ứng dụng xác định thời gian sấy bằng phương pháp tương tự làm cơ sở cho tính toán thiết kế TBS.

### 3.2. Giá trị thực tiễn

Trên cơ sở nghiên cứu tổng quan về đối tượng sấy, thiết bị sấy phân hoa, phân tích ưu nhược điểm về tính kinh tế và kỹ thuật, chúng tôi đã đề xuất một mô hình thiết bị sấy phân hoa hợp lý cho qui mô hộ gia đình ở Việt Nam là thiết bị sấy bằng bơm nhiệt hồi lưu toàn phần với tác nhân sấy chuyển động vuông góc với lớp vật liệu sấy và có cào đảo trộn vật liệu trong quá trình sấy.

Trên cơ sở mô hình đã đề xuất, ứng dụng kết quả nghiên cứu lý thuyết để tính toán thiết kế, chế tạo và khảo nghiệm, đã xác định chế độ sấy, kết cấu thiết bị phù hợp tại Việt Nam.

Mô hình với chế độ sấy phù hợp đã được chuyển giao cho cơ sở sản xuất, với sản phẩm phân hoa đạt giá trị kinh tế và chất lượng được xã hội chấp nhận, góp phần nội địa hóa thiết bị sản xuất phân hoa, tiết kiệm chi phí nhập khẩu thiết bị sản xuất cho Việt Nam, phù hợp với chính sách khoa học công nghệ của quốc gia. Đây là đóng góp về mặt thực tiễn của luận án.

### 3.3. Điểm mới của đề tài

- Xây dựng phương pháp mới xác định đồng thời hệ số dẫn nhiệt, hệ số khuếch tán nhiệt và nhiệt dung riêng của vật liệu ẩm theo các công thức sau:

$$+ \text{Hệ số dẫn nhiệt: } \lambda = \frac{4qL(t_{ib}(\tau) - t_0)}{\pi(t_1(\tau) - t_0)^2}, \text{ W/(m.K)}$$

$$+ \text{Hệ số khuếch tán nhiệt: } a = \frac{4L^2(t_{ib}(\tau) - t_0)^2}{\pi\tau(t_1(\tau) - t_0)^2}, \text{ m/s}$$

$$+ \text{Nhiệt dung riêng: } C_v = \frac{q \cdot \tau}{L \cdot (t_{ib} - t_0) \cdot \rho_v}, \text{ J/(kg.K)}$$

- Bằng thực nghiệm xây dựng mô hình toán học xác định: khối lượng riêng  $\rho_v = f(\omega, d)$ , hệ số dẫn nhiệt  $\lambda = f(\omega, t)$ , hệ số khuếch tán nhiệt  $a = f(\omega, t)$ , nhiệt dung riêng  $C = f(\omega, t)$ , hệ số dẫn ẩm  $h_m = f(v, t)$  và hệ số khuếch tán ẩm  $a_m = f(v, t)$  của phân hoa để làm cơ sở cho quá trình tính toán nhiệt nói chung cũng như tính toán thiết kế TBS nói riêng.

- Trên cơ sở mô hình đã đề xuất, ứng dụng kết quả nghiên cứu lý thuyết để tính toán thiết kế chế tạo và khảo nghiệm mô hình để xây dựng chế độ sấy và kết cấu thiết bị phù hợp với điều kiện Việt Nam.

- Mô hình đã được chuyển giao cho công ty TNHH Cửu Long Bee, với sản phẩm phân hoa đạt giá trị kinh tế và chất lượng được xã hội chấp nhận.

# Chương 1. TỔNG QUAN

## 1.1. Tổng quan về phấn hoa

### 1.1.1. Khái niệm về phấn hoa

Phấn hoa hay còn gọi phấn ong, tên tiếng anh là bee pollen, là những tế bào sinh sản giống đực của các loài hoa được những con ong thợ thu gom mang về làm thức ăn của loài ong. Nó cũng là sản phẩm của ngành nuôi ong.

### 1.1.2. Thành phần hóa học và công dụng của phấn hoa

#### 1.1.2.1. Thành phần hóa học

Thành phần hóa học cơ bản của phấn hoa tươi gồm nước, protein, axit amin, chất béo và các loại đường. Ngoài ra, trong phấn hoa còn có khá nhiều loại men và các chất có hoạt tính sinh học rất có ích cho cơ thể con người. Thành phần của phấn hoa thay đổi phụ thuộc vào điều kiện khí hậu, địa lý, nguồn gốc thực vật.

#### 1.1.2.2. Công dụng của phấn hoa

Kết quả nghiên cứu của Johanna Barajas và ctv (2009); Campos và ctv (2010) đã khẳng định rằng phấn hoa là một loại thực phẩm có chứa đầy đủ thành phần dinh dưỡng như đạm, đường, béo, vitamin, enzyme và các khoáng chất có giá trị sinh học cao nên phấn hoa là nguồn dược phẩm, thức ăn tự nhiên bổ sung và là loại thực phẩm chức năng rất có lợi cho sức khỏe của con người. Tuy nhiên hiệu lực của phấn hoa cao hay thấp còn phụ thuộc nhiều vào yếu tố môi trường tác động trong suốt quá trình thu hoạch, sơ chế và bảo quản chúng.

Campos đã đề xuất một "Dự thảo tiêu chuẩn" chất lượng toàn cầu của phấn hoa trong giao dịch thương mại, như sau:

#### ❖ **Cảm quan**

- Màu: Nâu, vàng, cam, màu cát, xanh xám, đen, tím
- Hình dạng: Khối hạt to đều, giữ nguyên hình dáng bên ngoài,
- Kích thước hạt khoảng từ 1- 3mm. Các hạt không bẽ, nát hay đổ vụn.
- Mùi: Thơm đặc biệt của phấn hoa, tùy theo nguồn hoa
- Tạp chất khác: Không có độc tố, vi khuẩn gây bệnh, nấm mốc, sâu bọ

#### ❖ **Chỉ tiêu hoá lý**

- Hàm lượng nước: Dưới 8%
- Tro: Dưới 6%
- Protein: Trên 15%
- Đường: Trên 40%
- Chất béo: Trên 1.5%

## 1.2. Tình hình nghiên cứu và các phương pháp sấy phấn hoa trong, ngoài nước

### 1.2.1. Tình hình nghiên cứu và các phương pháp sấy phấn hoa ngoài nước

Năm 2003, Campos và cộng sự đã nghiên cứu về TBS với tác nhân sấy (TNS) được gia nhiệt bằng điện trở và đã đưa kiến nghị sấy phấn hoa bằng không khí khô, nhiệt độ khoảng 40°C sẽ hạn chế được sự tổn thất của các chất dinh dưỡng có trong phấn hoa.

Năm 2009, tại Thổ Nhĩ Kỳ, Adnan Midilli và cộng sự đã nghiên cứu sử dụng TBS bằng năng lượng mặt trời để sấy phấn hoa. Ưu điểm là chi phí đầu tư thấp, vận hành đơn giản. Tuy nhiên nhược điểm là kiểm soát điều kiện sấy kém do phụ thuộc vào thời tiết, thời gian sấy dài, chất lượng sản phẩm kém.

Cũng năm 2009, tại Colombia, Barajas và cộng sự đã có nghiên cứu ảnh hưởng của

nhệt độ sấy của TBS bằng không khí nóng đến chất lượng phần hoa được khai thác bởi hai vùng khác nhau. Đã khẳng định rằng hàm lượng vitamin C trong phần hoa bị thất thoát bởi nhiệt độ sấy và khuyến cáo sấy phần hoa ở nhiệt độ nhỏ hơn 45°C. Ngoài ra cũng nhận xét tổn thất vitamin C ở phần hoa các vùng khác nhau là không như nhau.

Năm 2016 ở Italy, Angelo Canale và ctv đã nghiên cứu về sự thay đổi của thành phần rutin, amino acids trong phần hoa với thiết bị sấy gia nhiệt bằng vi sóng trong môi trường chân không. Kết quả nghiên cứu đã khẳng định rằng với thiết bị sấy chân không bằng vi sóng thì hàm lượng rutin và amino acids được bảo toàn do nhiệt độ sấy thấp.

### **1.2.2. Tình hình nghiên cứu và các phương pháp sấy phần hoa trong nước**

Năm 2007, công ty cổ phần ong mật Đăk Lăk có tiến hành đề tài thử nghiệm sấy phần hoa bằng máy sấy chân không. Kết quả bước đầu đã cho thấy phần hoa khô thu được tốt hơn so với các loại phần hoa sấy thủ công hoặc phơi nắng. Tuy nhiên do công suất còn hạn chế 15 – 20 kg/ngày, thời gian sấy khá dài, từ 9 - 10 giờ.

Năm 2010, Lê Minh Hoàng và cộng sự đã nghiên cứu sấy phần hoa bằng sấy lạnh – chân không. Kết quả chất lượng sản phẩm tương đối tốt. Tuy nhiên giá thành thiết bị cao, thời gian sấy dài nên chưa ứng dụng rộng rãi.

Cũng năm 2011, Lê Anh Đức và các cộng sự cũng có nghiên cứu sấy phần hoa bằng vi sóng trong môi trường chân không. Kết quả chất lượng sản phẩm tốt. Tuy nhiên, chưa được áp dụng rộng rãi vì giá thành thiết bị cao, thời gian sấy dài.

Năm 2013, Nguyễn Hữu Quyền cũng đã nghiên cứu sấy phần hoa theo phương pháp sấy bom nhiệt truyền động băng tải. Kết quả chất lượng sản phẩm tốt. Tuy nhiên chi phí sấy lớn và thiết bị công kênh nên chưa được áp dụng rộng rãi.

## **1.3. Đánh giá lựa chọn phương pháp và thiết bị sấy phần hoa**

### **1.3.1. Những yếu tố ảnh hưởng đến chất lượng phần hoa trong QTS**

Sấy phần hoa làm giảm hàm lượng nước trong phần hoa nhằm giảm thiểu sự hư hỏng do vi sinh vật gây ra và kéo dài thời gian sử dụng. Ngoài ra, làm giảm đáng kể trọng lượng cũng góp phần làm giảm chi phí lưu trữ, xử lý và phân phối.

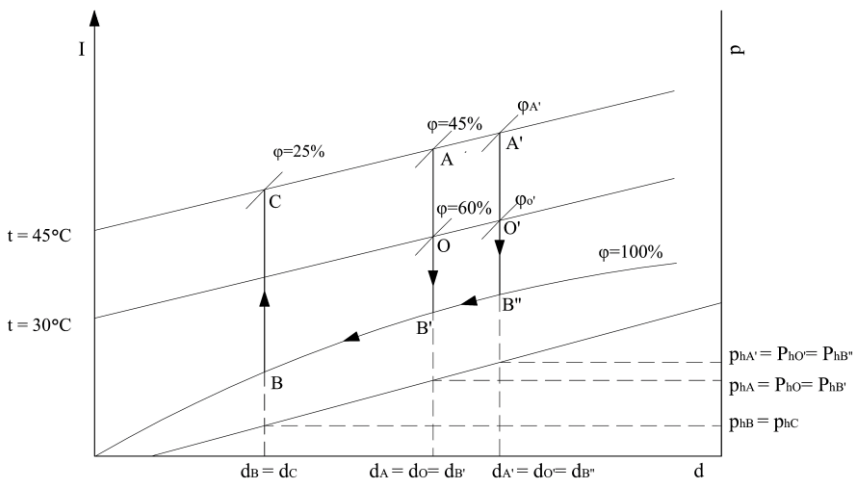
Phần hoa chứa các loại vitamin như Provitamin A, B1, B2, B3, B5, B6, B12, C, D, E, H, K, PP, nhiều loại men và các chất có hoạt tính sinh học rất có ích cho cơ thể. Tuy nhiên các provitamine A, vitamin C và E là những vitamin dễ bị mất đi trong quá trình sấy. Vì vậy cần nghiên cứu các ảnh hưởng của phương pháp và chế độ sấy đến chất lượng phần hoa để nâng cao giá trị của sản phẩm.

Các công trình nghiên cứu của Adnan Midilli và ctv (2000); Johanna Barajas và ctv (2009); Lê Minh Hoàng và ctv (2010); Angelo Canale và ctv (2016) đã kiến nghị rằng nên sấy phần hoa ở nhiệt độ từ 40 đến 45°C trong môi trường không tiếp xúc với ánh sáng và không khí bên ngoài để sản phẩm đạt chuẩn chất lượng về dinh dưỡng, màu sắc và mùi vị.

### **1.3.2. Phân tích cơ chế sấy**

Quá trình sấy là quá trình tách ẩm, chủ yếu là nước và hơi nước ra khỏi vật liệu sấy để thải vào môi trường. Động lực của quá trình tách ẩm hay còn gọi là động lực quá trình sấy chính là độ chênh lệch phân áp suất riêng phần của hơi nước giữa các phần trong vật liệu sấy và giữa bề mặt của nó với môi trường.

Xét 2 cơ chế sấy nóng và sấy lạnh (sấy bom nhiệt) với TNS là không khí ở một nhiệt độ sấy 45°C. Trạng thái TNS được thể hiện trên đồ thị I - d (hình 1.1).



Hình 1.1. Đồ thị I - d biểu diễn quá trình sấy

Qua khảo sát 2 cơ chế sấy nóng và sấy lạnh (sấy bơm nhiệt) nêu trên, ta thấy ở cùng một nhiệt độ sấy thì phương pháp sấy lạnh có động lực sấy lớn hơn.

### 1.3.3. Lựa chọn phương pháp và thiết bị sấy

Qua tìm hiểu về đặc tính, thành phần giá trị của phần hoa và các yếu tố ảnh hưởng đến chất lượng phần hoa trong quá trình sấy cũng như qua nghiên cứu phân tích các phương pháp và thiết bị sấy. Ta thấy mỗi phương pháp sấy đều có ưu nhược điểm riêng do đó tùy theo điều kiện thực tế mà lựa chọn phương pháp và TBS sao cho phù hợp, thỏa mãn mục tiêu về chất lượng và chi phí sấy.

Như vậy, căn cứ vào điều kiện khí hậu, kinh tế và kỹ thuật của Việt Nam, chúng tôi đề xuất thiết bị làm khô phần hoa với quy mô hộ gia đình là thiết bị sấy bằng bơm nhiệt hồi lưu toàn phần có kết hợp cào đảo trộn. Trên thiết bị sấy này chúng tôi nghiên cứu thực nghiệm để tìm ra chế độ sấy thích hợp với mục tiêu là sản phẩm sấy tốt cùng với giá thành hợp lý.

## 1.4. Tổng quan về phương pháp xác định các thông số nhiệt vật lý của vật liệu ẩm

### 1.4.1. Phương pháp xác định hệ số dẫn nhiệt

Phương pháp lý thuyết cũng như thực nghiệm xác định hệ số dẫn nhiệt của vật liệu được nghiên cứu từ rất lâu và ngày nay càng phát triển. Nhiều công trình khoa học về lĩnh vực này đã được công bố.

Cơ sở các phương pháp xác định các thông số nhiệt vật lý của vật liệu được xây dựng trên cơ sở bài toán dẫn nhiệt. Theo đặc trưng cơ bản của phân bố trường nhiệt độ theo thời gian mà phương pháp xác định được phân thành hai nhóm: phương pháp ổn định, phương pháp không ổn định.

#### 1.4.1.1. Phương pháp ổn định

Phương pháp ổn định là phương pháp được xây dựng trên cơ sở bài toán dẫn nhiệt ổn định một chiều và các điều kiện biên của nó.

Bằng cách tạo ra dòng nhiệt ổn định một chiều qua vật sau đó đo giá trị nhiệt độ tại hai bề mặt vật và dòng nhiệt truyền qua mẫu để xác định hệ số dẫn nhiệt. Theo hướng truyền của nguồn nhiệt, đặc trưng hình học và điều kiện biên của bài toán dẫn nhiệt mà nhóm



phương pháp này có các phương pháp cơ bản sau:

- Phương pháp dòng nhiệt truyền theo chiều dọc (nguồn nhiệt mặt)
- Phương pháp dòng nhiệt truyền theo hướng bán kính (nguồn nhiệt đường).
- Phương pháp nhiệt ẩn hóa hơi

#### **1.4.1.2. Phương pháp không ổn định**

Cơ sở của phương pháp này được xây dựng trên bài toán dẫn nhiệt không ổn định. Tương tự như phương pháp ổn định, theo hướng truyền của nguồn nhiệt, đặc trưng hình học và điều kiện biên của bài toán dẫn nhiệt mà nhóm phương pháp này có các phương pháp cơ bản sau:

- Phương pháp Fitch.
- Phương pháp cải tiến Fitch.
- Phương pháp que thăm.
- Phương pháp so sánh

#### **1.4.2. Phương pháp xác định hệ số khuếch tán nhiệt**

Xác định hệ số khuếch tán nhiệt có 2 phương pháp chính: phương pháp xác định trực tiếp và phương pháp xác định gián tiếp.

##### **1.4.2.1. Phương pháp xác định gián tiếp**

Hệ số khuếch tán nhiệt được xác định gián tiếp qua 3 thông số nhiệt vật lý là: hệ số dẫn nhiệt  $\lambda$ , nhiệt dung riêng  $C$  và khối lượng riêng  $\rho$ .

Thể hiện qua biểu thức sau:  $a = \lambda / (\rho.C)$

##### **1.4.2.2. Phương pháp xác định trực tiếp**

Cơ sở lý thuyết của phương pháp này là bài toán dẫn nhiệt không ổn định một chiều. Phương pháp xác định này có các loại cơ bản sau:

- Phương pháp đồ thị
- Phương pháp que thăm
- Phương pháp Dickerson
- Phương pháp biến phân

#### **1.4.3. Phương pháp xác định nhiệt dung riêng**

Nhiệt dung riêng thường được xác định thực nghiệm trên cơ sở cân bằng nhiệt lượng trong điều kiện đoạn nhiệt. Phương pháp xác định nhiệt dung riêng cơ bản có các loại sau:

- Phương pháp tấm chắn.
- Phương pháp so sánh.
- Phương pháp hỗn hợp

#### **1.4.4. Nhận xét:**

Để xác định hệ số dẫn nhiệt và khuếch tán nhiệt thì có hai nhóm phương pháp, với mỗi phương pháp đều có ưu và nhược điểm riêng.

Cơ sở lý thuyết của nhóm phương pháp ổn định sử dụng trực tiếp định luật Fourier và bài toán dẫn nhiệt ổn định nên có ưu điểm: Quy trình tính toán đơn giản, dễ dàng điều khiển trong các điều kiện thực nghiệm, kết quả chính xác cao. Tuy nhiên, phương pháp này có nhược điểm: thời gian thí nghiệm thường rất dài, do đó chỉ thích hợp với vật liệu khô, không thích hợp với vật liệu ẩm vì độ ẩm thay đổi đáng kể so với ban đầu.

Nhóm phương pháp không ổn định được thiết lập trên cơ sở bài toán dẫn nhiệt không ổn định, nên có thể thực nghiệm trong giai đoạn không ổn định ban đầu của quá trình truyền nhiệt, do đó rút ngắn thời gian thực nghiệm và rất thích hợp với các vật liệu ẩm. Nhược

điểm là xây dựng trên bài toán dẫn nhiệt không ổn định nên việc tìm nghiệm của bài toán rất phức tạp, vì vậy để đơn giản bài toán thì ta phải đặt thêm các giả thiết như Fo đủ bé hoặc Fo đủ lớn, quá trình dẫn nhiệt là ổn định. Do đó nghiệm của bài toán là nghiệm gần đúng, dẫn đến những sai số nhất định.

### 1.5. Kết luận chương I

Căn cứ điều kiện thực tế ở Việt Nam, nhằm tạo ra sản phẩm phấn hoa đạt giá trị kinh tế và chất lượng. Chúng tôi đề xuất thiết bị sấy phấn hoa quy mô hộ gia đình là TBS bằng bơm nhiệt hồi lưu toàn phần, có cào đảo trộn vật liệu trong quá trình sấy để nghiên cứu và khảo nghiệm nhằm tạo ra một cơ chế sấy với nhiệt độ, độ ẩm thấp. Ở Việt Nam đây là TBS rất phù hợp về mặt kinh tế và kỹ thuật.

Ta thấy các đặc trưng nhiệt vật lý của phấn hoa phụ thuộc nhiều vào độ ẩm và các thành phần của nó. Mà độ ẩm và thành phần phấn hoa lại phụ thuộc vào điều kiện khí hậu, địa lý, nguồn gốc thực vật. Qua hiểu biết của chúng tôi thì hầu như các tính chất nhiệt vật lý của phấn hoa chưa được nghiên cứu và công bố ở Việt Nam. Vì vậy, việc xác định các đặc trưng nhiệt vật lý để phục vụ cho tính toán các quá trình công nghệ như khối lượng riêng, nhiệt dung riêng, hệ số dẫn nhiệt, hệ số khuếch tán nhiệt của phấn hoa tại Việt Nam là rất cần thiết.

Qua phân tích, để xác định các thông số nhiệt vật lý của vật liệu nói chung như hệ số dẫn nhiệt, hệ số khuếch tán nhiệt,... có hai nhóm phương pháp: phương pháp ổn định và phương pháp không ổn định. Ta thấy mỗi phương pháp đều có ưu nhược điểm riêng, do đó tùy theo điều kiện thực tế mà lựa chọn phương pháp cho phù hợp nhằm thỏa mãn được hai mục tiêu là chính xác và tiết kiệm. Với vật liệu ẩm, thường quá trình khuếch tán ẩm chưa xảy ra trong giai đoạn đốt nóng nên để đảm bảo tính chính xác trong việc xác định các thông số nhiệt vật lý của vật liệu ẩm chúng tôi sử dụng phương pháp không ổn định.

Trong khuôn khổ nghiên cứu của luận án, với mong muốn góp phần làm phong phú thêm phương pháp xác định, chúng tôi tập trung nghiên cứu bài toán truyền nhiệt – truyền chất trong vật liệu ẩm. Từ đó đề xuất một phương pháp mới cho phép đồng thời xác định cả ba hệ số: hệ số dẫn nhiệt, hệ số khuếch tán nhiệt, nhiệt dung riêng của các vật liệu ẩm nói chung và phấn hoa nói riêng ở một nhiệt độ và độ ẩm trung bình ban đầu nào đó để tính toán thiết kế TBS sấy phấn hoa. Qua đó, bằng qui hoạch thực nghiệm, xác định các thông số công nghệ đạt chất lượng về hiệu quả kinh tế và kỹ thuật phù hợp với thực tế sản xuất phấn hoa tại Việt Nam và xuất khẩu.

## Chương 2. NỘI DUNG VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

### 2.1. Nội dung nghiên cứu

Trên cơ sở các mục tiêu mà luận án định ra, đề tài sẽ được nghiên cứu với các nội dung cụ thể sau:

- Phân tích tổng quan ưu, nhược điểm của tất cả các phương pháp sấy, thiết bị sấy phần hoa đang áp dụng hiện nay trên thế giới và Việt Nam.
- Phân tích tổng quan ưu, nhược điểm của tất cả các phương pháp xác định các thông số nhiệt vật lý của vật liệu âm.
- Đề xuất mô hình thiết bị sấy phần hoa phù hợp ở Việt Nam.
- Thực hiện nghiên cứu bản chất lý thuyết của truyền nhiệt, truyền ẩm VLA từ đó đề xuất phương pháp mới xác định các thông số nhiệt vật lý của VLA.
- Thực nghiệm kiểm chứng lại lý thuyết.
- Nghiên cứu sự tương tự của truyền nhiệt, truyền ẩm của VLA làm cơ sở xác định thời gian sấy bằng phương pháp tương tự.
- Thực nghiệm xác định các đặc trưng nhiệt vật lý phần hoa.
- Xác định thời gian sấy lý thuyết bằng phương pháp tương tự trên cơ sở các thông số nhiệt vật lý phần hoa tìm được.
- Tính toán thiết kế và chế tạo mô hình thiết bị sấy phần hoa theo kết quả của lý thuyết đã nghiên cứu.
- Thực nghiệm xác định các thông số công nghệ sấy đạt chất lượng và hiệu quả kinh tế phù hợp với thực tiễn sản xuất phần hoa tại Việt Nam và xuất khẩu.
- Chuyển giao thiết bị nghiên cứu cho cơ sở sản xuất phần hoa.

### 2.2. Phương pháp nghiên cứu của đề tài

#### 2.2.1. Phương pháp nghiên cứu lý thuyết

Để giải quyết các mục tiêu nghiên cứu đã được xác định trong luận án, trong phần nghiên cứu lý thuyết này chúng tôi sẽ:

- Kế thừa kết quả nghiên cứu lý thuyết của các tác giả trong và ngoài nước trong lĩnh vực truyền nhiệt, truyền chất, sấy vật liệu dạng hạt, sấy phần hoa để bổ sung cho quá trình nghiên cứu nhằm đảm bảo tính khoa học, tiết kiệm thời gian và chi phí nghiên cứu.
- Ứng dụng lý thuyết về toán học, vật lý để xây dựng mô hình vật lý, toán học mô tả bản chất quá trình vật lý truyền nhiệt, truyền chất trong vật liệu âm.
- Sử dụng phương pháp giải tích để giải và tìm nghiệm mô hình toán truyền nhiệt, truyền chất trong quá trình nghiên cứu để xác định các thông số nhiệt vật lý.
- Ứng dụng phương pháp giải tích giải các bài toán tối ưu để xác định chế độ làm việc thích hợp cho thiết bị sấy.

#### 2.2.1.1. Phương pháp xác định các hệ số dẫn nhiệt, hệ số khuếch tán nhiệt và nhiệt dung riêng của phần hoa.

Phương pháp này do chúng tôi đề xuất trên cơ sở hai nghiệm giải tích gần đúng của bài toán dẫn nhiệt trong nửa tấm phẳng một chiều với điều kiện biên loại 2 đối xứng khi Fourier đủ bé. Mô hình toán học của phương pháp được thể hiện dưới đây.

$$\frac{\partial t(x, \tau)}{\partial \tau} = a \frac{\partial^2 t(x, \tau)}{\partial x^2}, 0 \leq x \leq L, \tau > 0 \quad (2.1)$$

Các điều kiện đơn trị:

- Điều kiện ban đầu:  $t(x, 0) = t_0 = const$  (2.2)

- Điều kiện biên:  $q = \lambda \left( \frac{\partial t(L, \tau)}{\partial x} \right)$  (2.3)

- Điều kiện đối xứng:  $\left( \frac{\partial t(0, \tau)}{\partial x} \right) = 0$  (2.4)

### 2.2.1.2. Phương pháp xác định hệ số truyền ẩm và hệ số khuếch tán ẩm của phần hoa

Cơ sở của phương pháp này là hai nghiệm giải tích gần đúng của bài toán khuếch tán ẩm 1 chiều trong nửa tâm phẳng có chiều dày 2.L với điều kiện biên loại 3 đối xứng được

thể hiện dưới đây:  $\frac{\partial \omega_k(x, \tau)}{\partial \tau} = a_m \frac{\partial^2 \omega_k(x, \tau)}{\partial x^2}, 0 \leq x \leq L, \tau > 0$  (2.5)

Với điều kiện đơn trị:

- Điều kiện ban đầu  $\tau = 0$ :  $\omega_k(x, 0) = \omega_{k0}$  (2.6)

- Điều kiện biên  $x = L$ :  $-a_m \left( \frac{\partial \omega_k(L, \tau)}{\partial x} \right) = h_m (\omega_k(L, \tau) - \omega_{ke})$  (2.7)

- Điều kiện đối xứng  $x = 0$ :  $\left( \frac{\partial \omega_k(0, \tau)}{\partial x} \right) = 0$  (2.8)

### 2.2.1.3. Phương pháp tương tự để xác định thời gian sấy phần hoa

Phương pháp này được xây dựng trên cơ sở tính tương tự của mô hình toán học về phương trình vi phân dẫn nhiệt và khuếch tán ẩm.

$$\frac{\partial t}{\partial \tau} = a_{11} \nabla^2 t + a_{12} \nabla^2 \omega_k \quad (2.9)$$

$$\frac{\partial \omega_k}{\partial \tau} = a_{21} \nabla^2 t + a_{22} \nabla^2 \omega_k \quad (2.10)$$

Trong đó:  $\nabla^2 t = \frac{\partial^2 t}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial z^2}$  (2.11)

$$\nabla^2 \omega_k = \frac{\partial^2 \omega_k}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \omega_k}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \omega_k}{\partial z^2} \quad (2.12)$$

Trong cả hai trường hợp này khi tính đến hoặc không tính đến ảnh hưởng lẫn nhau ở cùng một dạng điều kiện đơn trị giống nhau, theo Trần Văn Phú (1997) đã chứng minh rằng đều có thể biểu diễn bởi một mô hình toán học như nhau nên nghiệm của trường nhiệt độ và trường độ ẩm có cùng một dáng điệu, chúng chỉ khác nhau một số hệ số nào đó.

### 2.2.2. Phương pháp nghiên cứu thực nghiệm

- Thực nghiệm xác định các đặc trưng nhiệt vật lý phần hoa
- Tính toán, thiết kế và chế tạo mô hình thiết bị sấy trên các thông số nhiệt vật lý phần hoa đã tìm được.
- Thực nghiệm trên mô hình để kiểm chứng lại lý thuyết
- Quy hoạch thực nghiệm xác định các thông số làm việc thích hợp của TBS.
- Chuyển giao thiết bị nghiên cứu.

## Chương 3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

Như đã trình bày phần mục tiêu của luận án là xác định một số thông số nhiệt vật lý của phần hoa bằng phương pháp do tác giả đề xuất để làm cơ sở cho tính toán thiết kế. Thử nghiệm trên TBS đã được đề xuất để tìm ra chế độ sấy thích hợp cho hộ gia đình ở Việt Nam. Với mục đích đó, trong chương 3 này tác giả sẽ trình bày kết quả nghiên cứu lý thuyết và thực nghiệm của mười vấn đề sau đây:

- Kết quả nghiên cứu đặc trưng truyền nhiệt truyền chất của vật liệu ẩm. Từ đó xây dựng một phương pháp mới đồng thời xác định hệ số dẫn nhiệt, hệ số khuếch tán nhiệt và nhiệt dung riêng cho phần hoa nói riêng và cho vật liệu ẩm nói chung.

- Nghiên cứu cơ sở lý thuyết truyền nhiệt truyền chất của vật liệu ẩm và kiến nghị thuật toán để thực nghiệm xác định đồng thời hệ số truyền ẩm và hệ số khuếch tán ẩm của phần hoa.

- Nghiên cứu tương tự truyền nhiệt truyền chất của vật liệu ẩm làm cơ sở lý thuyết để xác định thời gian sấy theo phương pháp tương tự.

- Kết quả thực nghiệm xác định một số thông số nhiệt vật lý của phần hoa và quan hệ hàm gần đúng của thông số:  $\rho_h = f(\omega, d)$ ,  $\rho_v = f(\omega, d)$ ,  $a = f(\omega, t)$ ,  $\lambda = f(\omega, t)$ ,  $C = f(\omega, t)$ ,  $h_m = f(t, v)$ ,  $a_m = f(t, v)$ .

- Xác định thời gian sấy lý thuyết trên TBS chúng tôi đề xuất bằng phương pháp tương tự với hệ số dẫn ẩm  $hm$ , hệ số khuếch tán ẩm  $a_m$  của phần hoa.

- Thực nghiệm đánh giá sai số giữa thời gian sấy lý thuyết và thực tế trên TBS được đề xuất.

- Kết quả nghiên cứu thực nghiệm với TBS đã thiết kế chế tạo và phương trình toán học biểu diễn sự phụ thuộc của chi phí điện năng riêng  $Ar$ , phần trăm hàm lượng vitamin %C và tỉ lệ thu hồi sản phẩm %M vào nhiệt độ, vận tốc tác nhân sấy, chu kỳ đảo trộn

- Xác định chế độ sấy thích hợp

- Xây dựng được phương trình tiên đoán giảm ẩm  $\omega$  (%) theo thời gian  $\tau$  (s) trong quá trình sấy phần hoa trên cơ sở các mô hình của những tác giả đi trước.

### 3.1. Xây dựng phương pháp mới xác định đồng thời hệ số dẫn nhiệt, hệ số khuếch tán nhiệt và nhiệt dung riêng của phần hoa

Trong mục này, trên cơ sở nghiên cứu đặc trưng bài toán truyền nhiệt, truyền chất trong VLA chúng tôi sẽ trình bày 2 vấn đề sau đây:

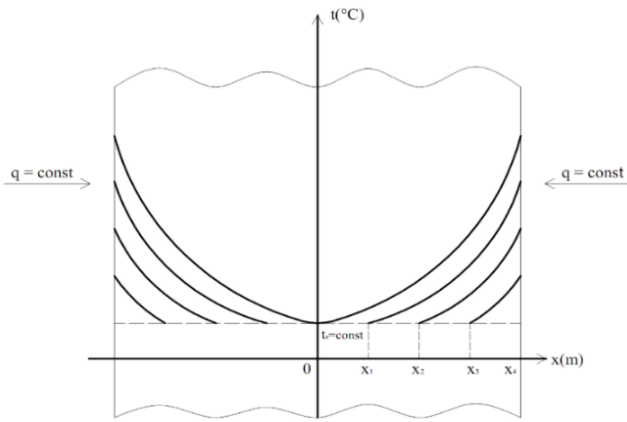
- Lý thuyết phương pháp mới xác định đồng thời các hệ số dẫn nhiệt, hệ số khuếch tán nhiệt và nhiệt dung riêng của phần hoa nói riêng và VLA nói chung do chúng tôi đề xuất.

- Cơ sở thiết kế thiết bị và phương pháp thí nghiệm xác định hệ số dẫn nhiệt, hệ số khuếch tán nhiệt và nhiệt dung riêng do chúng tôi đề xuất.

Trước khi xây dựng phương pháp mới xác định hai hệ số nói trên chúng ta xem xét mô hình vật lý và mô hình toán học của bài toán sau đây.

#### 3.1.1. Mô hình vật lý

Xét một tấm phẳng vật liệu ẩm chiều dày  $2L$  với độ ẩm và nhiệt độ ban đầu đã biết tương ứng bằng  $\omega_0$  và  $t_0$ . Khi  $\tau > 0$  trên hai mặt của tấm phẳng duy trì một dòng nhiệt không đổi  $q$  ( $W/m^2$ ).



Hình 3.1. Phân bố nhiệt độ trong nửa tấm phẳng ở các thời điểm  $\tau = \tau_n$

### 3.1.2. Mô hình toán học

Khi bỏ qua ảnh hưởng lẫn nhau giữa dẫn nhiệt và khuếch tán ẩm hoặc tính đến ảnh hưởng đó thì mô hình toán học xác định trường nhiệt độ (2.1) - (2.4) dưới dạng không thứ nguyên được biểu diễn như sau:

$$\frac{\partial \theta(X, Fo)}{\partial Fo} = \frac{\partial^2 \theta(X, Fo)}{\partial X^2}, 0 \leq X \leq 1; Fo > 0 \quad (3.1)$$

$$\text{Với điều kiện ban đầu:} \quad \theta(X, 0) = 0 \quad (3.2)$$

$$\text{- Điều kiện biên:} \quad \frac{qL}{\lambda t_0} = \frac{\partial \theta(1, Fo)}{\partial X} \quad (3.3)$$

$$\text{- Điều kiện đối xứng:} \quad \frac{\partial \theta(0, Fo)}{\partial X} = 0 \quad (3.4)$$

Trong đó:

$$\text{- Tọa độ không thứ nguyên:} \quad X = x/L$$

$$\text{- Thời gian không thứ nguyên:} \quad Fo = \alpha \tau / L^2$$

$$\text{- Nhiệt độ không thứ nguyên:} \quad \theta(X, Fo) = \frac{t(x, \tau) - t_0}{t_0}$$

$$\text{- Tiêu chuẩn Kirpychev:} \quad Ki = qL / \lambda t_0$$

### 3.1.3. Giải bài toán dẫn nhiệt với điều kiện loại 2 đối xứng

Với mục đích tìm một nghiệm giải tích gần đúng thuận tiện trong việc xác định nhiệt độ trên bề mặt và nhiệt độ trung bình tích phân trong giai đoạn đốt nóng ban đầu chúng ta sẽ sử dụng phương pháp biến đổi tích phân Laplace. Khi đó ta đặt:

$$\theta(X, s) = \int_0^{\infty} \theta(X, Fo) \exp(-sFo) dFo \quad (3.5)$$

Giải (3.1) - (3.4) ta thu được bài toán dẫn nhiệt dưới dạng ảnh:

$$\frac{d^2 \theta(X, s)}{dX^2} - s\theta(X, s) = 0 \quad (3.6)$$

$$\text{- Điều kiện biên: } -\frac{d\theta(1,s)}{dX} + \frac{Ki}{s} = 0 \quad (3.7)$$

$$\text{- Điều kiện đối xứng: } \frac{d\theta(0,s)}{dX} = 0 \quad (3.8)$$

A.V. Luikov (1968) đã tìm được nghiệm giải tích chính xác có dạng ảnh:

$$\theta(X,s) = \frac{Ki.ch\sqrt{s}X}{s\sqrt{s}.sh\sqrt{s}} \quad (3.9)$$

Khai triển các hàm  $ch\sqrt{s}X$  và  $sh\sqrt{s}$  về dạng chuỗi, đồng thời sử dụng bảng ảnh – gốc ta tìm được nghiệm giải tích chính xác có dạng:

$$\theta(X, Fo) = Ki \left[ Fo - \frac{1}{6}(1-X^2) + \sum_{n=1}^{\infty} (-1)^{n+1} \frac{2}{\mu_n^2} \cos \mu_n X \exp(-\mu_n^2 Fo) \right] \quad (3.10)$$

Rõ ràng, nghiệm giải tích chính xác (3.10) rất khó sử dụng. Dễ dàng thấy rằng, nghiệm (3.9) có thể viết lại như sau:

$$\theta(X,s) = \frac{Ki}{s\sqrt{s}} \sum_{n=1}^{\infty} \left\{ \exp(-\sqrt{s}[(2n-1)+X]) + \exp(-\sqrt{s}[(2n-1)-X]) \right\} \quad (3.11)$$

Sử dụng bảng ảnh – gốc từ (3.11), ta tìm được nghiệm chính xác dưới dạng sau đây rất tiện dùng khi Fo đủ bé. Nghiệm đó có dạng:

$$\theta(X, Fo) = 2Ki\sqrt{Fo} \sum_{n=1}^{\infty} \left[ \text{ierfc} \frac{(2n-1)-X}{2\sqrt{Fo}} + \text{ierfc} \frac{(2n-1)+X}{2\sqrt{Fo}} \right] \quad (3.12)$$

Cũng theo A.V. Luikov (1968), khi Fo đủ bé nghiệm (3.12) có thể lấy  $n = 1$  là đủ. Khi đó, nghiệm (3.12) gần đúng bằng:

$$\theta(X, Fo) \approx 2Ki\sqrt{Fo} \left[ \text{ierfc} \frac{(2n-1)-X}{2\sqrt{Fo}} + \text{ierfc} \frac{(2n-1)+X}{2\sqrt{Fo}} \right] \quad (3.13)$$

Mặt khác chúng ta có thể đơn giản nghiệm ảnh (3.11) với điều kiện Fo đủ bé để tìm một dạng nghiệm giải tích gần đúng khác. Đây là đóng góp riêng của chúng tôi, khi đó cho  $n = 1$  nghiệm ảnh (3.11) sẽ lấy dạng:

$$\theta(X,s) = \frac{Ki}{s\sqrt{s}} \left[ \exp(-\sqrt{s}(1+X)) + \exp(-\sqrt{s}(1-X)) \right] \quad (3.14)$$

Sử dụng tính tích chập trong biến đổi tích phân Laplace nếu gốc của ảnh  $F_1(s)$  là  $f_1(Fo)$  và gốc của ảnh  $F_2(X,s)$  là  $f_2(X,Fo)$  thì hàm gốc của hàm ảnh  $\theta(X,s) = F_1(s).F_2(X,s)$  bằng:

$$\theta(X, Fo) = f_1(Fo) * f_2(X, Fo) = \int_0^{Fo} f_1(Fo - \theta) f_2(\theta, X) d\theta \quad (3.15)$$

Trong (3.15), ký hiệu \* là tích chập theo biến số Fo của hai hàm  $f_1(Fo)$  và  $f_2(X,Fo)$ .

Và nghiệm (3.15) trở thành :

$$\theta(X, Fo) = 2Ki \int_0^{Fo} \frac{1}{\sqrt{4\pi Fo}} \exp\left(-\frac{(1 \pm X)^2}{4Fo}\right) dFo \quad (3.16)$$

### 3.1.4. Nhiệt độ trên bề mặt vật liệu ( $X = 1$ ) tại thời điểm $\tau = \tau_n$

Chúng ta sẽ sử dụng nghiệm giải tích gần đúng (3.13) để xác định nhiệt độ trên bề mặt tiếp xúc. Khi đó, thay  $X = 1$  vào (3.13) ta được:

$$\theta_1(1, Fo) = 2Ki\sqrt{Fo} \left( ierfc\sqrt{1/Fo} + ierfc0 \right) \quad (3.17)$$

Do tính chất của hàm  $ierfc$ , nên khi  $Fo$  đủ bé, Chẳng hạn khi  $Fo = 0,5$  thì  $ierfc\sqrt{1/0,5} = 0,001$ . Trong khi đó  $ierfc0 = \sqrt{1/\pi} = 0,5642$ . Như vậy, khi  $Fo = 0,5$  bỏ qua  $ierfc\sqrt{1/Fo}$  chúng ta chỉ phạm một sai số tương đối  $\delta$  rất nhỏ và bằng:

$$\delta = \frac{0,0010}{(0,5642 + 0,0010)} = 0,0018$$

Như vậy, khi  $Fo$  đủ bé ta có luôn có  $ierfc0 \gg ierfc\sqrt{1/Fo}$ . Do đó, nhiệt độ trên bề mặt vật liệu tiếp xúc với nguồn nhiệt hay  $X = 1$  gần đúng bằng:

$$\theta_1(1, Fo) \approx \frac{2}{\sqrt{\pi}} Ki\sqrt{Fo} \quad (3.18)$$

### 3.1.5. Nhiệt độ trung bình tích phân trong tấm phẳng tại thời điểm $\tau = \tau_n$

Tích phân từ -1 đến 1 nghiệm (3.16) ta được nhiệt độ trung bình tích phân ở thời điểm  $\tau = \tau_n$  bằng:

$$\theta_b(Fo) = Ki \int_0^{Fo} \left\{ \int_{-1}^1 \frac{1}{\sqrt{4\pi Fo}} \exp\left[-\frac{(1\pm X)^2}{4Fo}\right] dX \right\} dFo \quad (3.19)$$

Mặt khác, theo A.V. Luikov (1968), khi  $Fo$  đủ bé, một cách gần đúng ta có:

$$\int_{-1}^+ \frac{1}{\sqrt{4\pi Fo}} \exp\left[-\frac{(1+X)^2}{4Fo}\right] dX + \int_{-1}^+ \frac{1}{\sqrt{4\pi Fo}} \exp\left[-\frac{(1-X)^2}{4Fo}\right] dX \approx 1 \quad (3.20)$$

Thay quan hệ gần đúng (3.20) vào (3.19), ta được nhiệt độ trung bình tích phân ở thời điểm  $\tau = \tau_n$  gần đúng bằng:

$$\theta_b(Fo) \approx Ki \int_0^{Fo} dFo = Ki.Fo \quad (3.21)$$

### 3.1.6. Các công thức xác định hệ số dẫn nhiệt, hệ số khuếch tán nhiệt và nhiệt dung riêng.

Nhiệt độ trên bề mặt đốt nóng được xác định bởi quan hệ (3.18) và nhiệt độ trung bình tích phân trong một nửa tấm phẳng ở thời điểm  $\tau = \tau_n$  cho bởi (3.21) tạo thành một hệ phương trình:

$$\theta_1(1, Fo) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} Ki\sqrt{Fo} \quad (3.22)$$

$$\theta_b(Fo) = KiFo \quad (3.23)$$

Khi đó thay  $Fo = a\tau/L^2$ ,  $Ki = qL/\lambda t_0$  vào hệ (3.22), (3.23) và giải hệ phương trình thu được :

$$\lambda = \frac{4qL(t_b(\tau) - t_0)}{\pi(t_1(\tau) - t_0)^2} \quad (3.24)$$

$$a = \frac{4L^2(t_b(\tau) - t_0)^2}{\pi\tau(t_1(\tau) - t_0)^2} \quad (3.25)$$

Nếu gọi khối VLS kích thước  $F.L$  ( $m^3$ ) có khối lượng  $G$  (kg) thì  $G = FL\rho$ ,



Khi đó công thức xác định nhiệt dung riêng trung bình theo định nghĩa:

$$C_v = \frac{Q}{G\Delta t} = \frac{Q}{L.F.\rho_v.\Delta t} = \frac{q.F.\tau_N}{L.F.\rho_v.\Delta t} = \frac{q\tau_N}{L.(t_{ib} - t_0).\rho_v}, \left[ \frac{J}{kgK} \right] \quad (3.26)$$

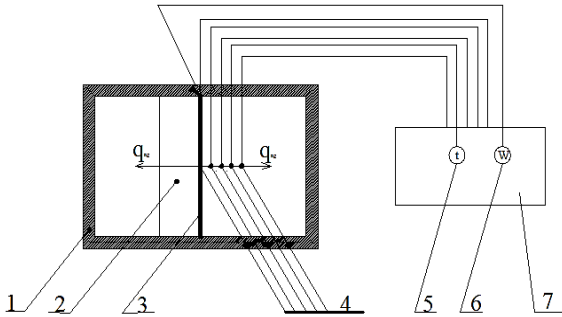
Ở đây  $q$  [ $W/m^2$ ] là mật độ dòng nhiệt.

Ngoài ra, có thể thấy, nếu thay  $\lambda$  và  $a$  từ (3.24), (3.25) vào công thức xác định nhiệt dung riêng đã được giới thiệu trong các tài liệu truyền nhiệt như A.V. Luikov (1968), Jatif M.Jiji (2009),... ta được:

$$C_v = \frac{\lambda}{a.\rho_v} = \frac{q.\tau}{L.(t_{ib} - t_0).\rho_v}, \left[ \frac{J}{kgK} \right] \quad (3.27)$$

Quan sát quan hệ (3.26) và (3.27), chúng tôi thấy công thức xác định nhiệt dung riêng trung bình theo định nghĩa và công thức xác định nhiệt dung riêng khi thay  $\lambda$  và  $a$  từ công thức (3.24), (3.25) vào (3.26) là như nhau. Điều này, về mặt toán lý gián tiếp minh chứng rằng, phương pháp xác định đồng thời các hệ số dẫn nhiệt (3.24) và hệ số khuếch tán nhiệt (3.25) do chúng tôi kiến nghị là đúng đắn và đáng tin cậy.

### 3.1.7. Sơ đồ nguyên lý và cấu tạo của mô hình thí nghiệm



Hình 3.2. Sơ đồ hệ thống thiết bị thí nghiệm đo đồng thời hệ số dẫn nhiệt, hệ số khuếch tán nhiệt và nhiệt dung riêng vật liệu ẩm

Trong đó : 1: Thùng chứa vật liệu 4: Đầu dò nhiệt độ  
2: Vật liệu thí nghiệm 5: Nhiệt kế  
3: Nguồn nhiệt 6: Woat kế

### 3.2. Phương pháp xác định hệ số truyền ẩm và hệ số khuếch tán ẩm

Hệ số khuếch tán ẩm và hệ số truyền ẩm là hai hệ số cần sử dụng để xác định thời gian sấy theo phương pháp tương tự.

Phương trình vi phân miêu tả quá trình khuếch tán ẩm một chiều trong nửa tấm phẳng có chiều dày  $2.L$  với điều kiện biên loại 3 đối xứng (2.5) – (2.8) được biểu diễn dưới dạng không thứ nguyên như sau:

$$\frac{\partial \theta_m(X, Fo_m)}{\partial Fo_m} = \frac{\partial^2 \theta_m(X, Fo_m)}{\partial X^2}, 0 \leq X \leq 1, Fo_m > 0 \quad (3.28)$$

Với các điều kiện đơn trị:

- Điều kiện ban đầu  $\theta_m(X, 0) = 0$  (3.29)

- Điều kiện biên:  $\frac{\partial \theta_m(1, Fo_m)}{\partial X} = -Bi_m \theta_m(1, Fo_m)$  (3.30)

- Điều kiện đối xứng: 
$$\frac{\partial \theta_m(0, Fo_m)}{\partial X} = 0 \quad (3.31)$$

Trong đó:

- Tọa độ không gian không thứ nguyên:  $X = x/L$

- Độ ẩm tuyệt đối không thứ nguyên: 
$$\theta_m(X, Fo) = \frac{\omega_k - \omega_{ke}}{\omega_{k0} - \omega_{ke}}$$

- Tiêu chuẩn Bio về trao đổi chất:  $Bi_m = h_m L / a_m$

- Thời gian không thứ nguyên:  $Fo_m = a_m \tau / L^2$

Theo Dincer và Hussain (2002), nghiệm giải tích gần đúng của phương trình (3.28) với các điều kiện đơn trị (3.29) – (3.31) có thể biểu diễn dưới dạng chuỗi sau đây:

$$\theta_m(X, Fo_m) = \sum_{n=1}^{\infty} A_n B_n \quad (3.32)$$

Ngoài ra, cũng theo Dincer và Hussain (2002), khi  $Fo_m > 0,2$  thì chuỗi (3.32) có thể lấy gần đúng với  $n = 1$ . Khi đó nghiệm (3.32) gần đúng bằng:

$$\theta_m(X, Fo_m) = A_1 B_1 = \left\{ \exp \frac{0,2533 Bi_m}{(1,3 + Bi_m)} \right\} \exp(-\mu^2 Fo_m) \quad (3.33)$$

Ở đây:

$$\mu = \arctan(0,640443 Bi_m + 0,380397) \quad (3.34)$$

Mặt khác, theo Dincer và Hussain (2002), nghiệm (3.28) với các điều kiện đơn trị (3.29) – (3.31) còn có thể biểu diễn dưới một dạng khác như sau:

$$\theta_m(X, Fo_m) = G \exp(-S\tau) \quad (3.35)$$

Hay  $\ln \theta_m = -S\tau + \ln G$

Ở đây:  $G$  là nhân tố cản trở, không thứ nguyên.

$S$  là hệ số sấy, [1/s]

So sánh nghiệm (3.33) và (3.35) dễ dàng thu được 2 quan hệ sau đây:

$$G = \exp \frac{0,2533 Bi_m}{1,3 + Bi_m} \quad (3.36)$$

$$\exp(-S\tau) = \exp(-\mu^2 Fo_m) \quad (3.37)$$

Từ hai công thức này, ta suy ra 2 kết quả sau:

$$a_m = SL^2 / \mu^2 \quad (3.38)$$

$$h_m = a_m \cdot Bi_m / L \quad (3.39)$$

Theo những gì trình bày trên đây, chúng tôi kiến nghị một thuật toán để thực nghiệm xác định đồng thời hệ số khuếch tán ẩm  $a_m$  và hệ số truyền ẩm  $h_m$  theo thứ tự sau:

- Bước 1: Thực nghiệm quá trình sấy xác định quan hệ  $\theta_m$  theo thời gian  $\tau$ ;  $\theta_m = f(\tau)$

$$\theta_m = \frac{\omega_k - \omega_{ke}}{\omega_{k0} - \omega_{ke}} = f(\tau)$$

- Bước 2: Logarit hai vế để xác định quan hệ:  $\ln \theta_m = \ln f(\tau)$

$$\ln \theta_m = \ln\left(\frac{\omega_k - \omega_{ke}}{\omega_{k0} - \omega_{ke}}\right) = f(\tau)$$

- Bước 3: Từ quan hệ  $\ln \theta_m = f(\tau)$  vừa tìm được trong bước trên và phương trình  $\ln \theta_m = -S\tau + \ln G$ , sử dụng phương pháp bình phương nhỏ nhất ta tìm được giá trị  $\ln G$  và  $S$ .

- Bước 4: Từ giá trị  $\ln G$  tìm được trong bước 3 trên đây chúng ta tiếp tục xác định  $Bi_m$  và  $\mu$  theo:

$$Bi_m = \frac{1,3 \ln G}{0,2533 - \ln G}$$

$$\mu = \arctan(0,640443Bi + 0,380397)$$

- Bước 5: Từ giá trị  $S$  và  $\mu$ , xác định hệ số khuếch tán  $a_m$  theo công thức:

$$a_m = SL^2 / \mu^2$$

- Bước 6: Cuối cùng xác định hệ số truyền ẩm  $h_m$  qua tiêu chuẩn  $Bi_m$  và  $a_m$ :

$$h_m = Bi_m a_m / L$$

### 3.3. Phương pháp tương tự xác định thời gian sấy

#### 3.3.1. Tính đồng dạng của mô hình toán học của quá trình dẫn nhiệt và khuếch tán ẩm:

Dưới dạng không thứ nguyên, bài toán dẫn nhiệt không ổn định một chiều trong tấm phẳng với điều kiện biên loại 3 đối xứng được miêu tả bởi phương trình vi phân và các điều kiện đơn trị sau:

$$\frac{\partial \theta(X, Fo)}{\partial Fo} = \frac{\partial^2 \theta(X, Fo)}{\partial X^2}, 0 \leq X \leq 1, Fo > 0 \quad (3.40)$$

Với các điều kiện đơn trị:

$$\text{- Điều kiện ban đầu:} \quad \theta(X, 0) = 0 \quad (3.41)$$

$$\text{- Điều kiện biên:} \quad \frac{\partial \theta(1, Fo)}{\partial X} = -Bi\theta(1, Fo) \quad (3.42)$$

$$\text{- Điều kiện đối xứng:} \quad \frac{\partial \theta(0, Fo)}{\partial X} = 0 \quad (3.43)$$

Trong đó:

$$\text{- Nhiệt độ không thứ nguyên:} \quad \theta(X, Fo) = \frac{t(x, \tau) - t_f}{t_0 - t_f}$$

Với  $t_0$  và  $t_f$  tương ứng là nhiệt độ ban đầu và nhiệt độ môi trường.

$$\text{- Tọa độ không gian không thứ nguyên:} \quad X = x/L,$$

Với  $L$  là chiều dày nửa tấm phẳng.

$$\text{- Thời gian không thứ nguyên:} \quad Fo = \alpha\tau/L^2,$$

Với  $\alpha$  là hệ số trao đổi nhiệt đối lưu

$$\text{- Tiêu chuẩn Biot đối với quá trình trao đổi nhiệt đối lưu:} \quad Bi = \alpha L / \lambda$$

Nhiều tác giả đã giải phương trình (3.40) – (3.43) bằng nhiều phương pháp khác nhau và thu được nghiệm giải tích chính xác dạng:

$$\theta(X, Fo) = \frac{t(x, \tau) - t_f}{t_0 - t_f} = \sum_{n=1}^{\infty} A_n \cos \mu_n X \exp(-\mu_n^2 Fo) \quad (3.44)$$

Ở đây:

$$A_n = \frac{2 \sin \mu_n}{\mu_n + \sin \mu_n \cos \mu_n} = (-1)^{n+1} \frac{2Bi \sqrt{Bi^2 + \mu_n^2}}{\mu_n (Bi^2 + Bi + \mu_n^2)} \quad (3.45)$$

Nhiệt độ trung bình không thứ nguyên trong tấm phẳng  $t_{ib}(\tau)$  theo thời gian:

$$\theta_{ib}(Fo) = \frac{t_{ib}(\tau) - t_f}{t_0 - t_f} = 2Bi^2 \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\exp(-\mu_n^2 Fo)}{\mu_n^2 (Bi^2 + Bi + \mu_n^2)} \quad (3.46)$$

Do mô hình toán học về dẫn nhiệt (3.40) – (3.43) và về khuếch tán âm (3.28) – (3.31) là tương tự nhau nên phân bố âm trong tấm phẳng cũng được miêu tả bởi quan hệ tương tự như (3.44):

$$\theta_m(X, Fo) = \frac{\omega_k(x, \tau) - \omega_{ke}}{\omega_{ko} - \omega_{ke}} = \sum_{n=1}^{\infty} A_n \cos \mu_n X \exp(-\mu_n^2 Fo_m) \quad (3.47)$$

Và:

$$A_n = \frac{2 \sin \mu_n}{\mu_n + \sin \mu_n \cos \mu_n} = (-1)^{n+1} \frac{2Bi_m \sqrt{Bi_m^2 + \mu_n^2}}{\mu_n (Bi_m^2 + Bi_m + \mu_n^2)} \quad (3.48)$$

Độ âm trung bình trong tấm phẳng tại mọi thời điểm lấy dạng:

$$\theta_{mib} = \frac{\omega_{kib}(\tau) - \omega_{ke}}{\omega_{ko} - \omega_{ke}} = 2Bi_m^2 \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\exp(-\mu_n^2 Fo_m)}{\mu_n^2 (Bi_m^2 + Bi_m + \mu_n^2)} \quad (3.49)$$

### 3.3.2. Phương pháp tương tự xác định thời gian sấy

Ta có tỷ số giữa nhiệt lượng  $Q(0 \rightarrow \tau_1)$  mà vật dẫn là tấm phẳng trao đổi với môi trường từ thời điểm bắt đầu quá trình đốt nóng hoặc làm nguội  $\tau = 0$  đến thời điểm  $\tau = \tau_1$  so với toàn bộ nhiệt lượng  $Q(0 \rightarrow \infty)$  mà vật dẫn có thể trao đổi với môi trường từ thời điểm ban đầu  $\tau = 0$  đến trạng thái cân bằng nhiệt hay tại thời điểm  $\tau = \infty$  được biểu diễn dưới dạng:

$$\frac{Q(0 \rightarrow \tau_1)}{Q(0 \rightarrow \infty)} = 1 - \frac{t_{ib}(\tau_1) - t_f}{t_0 - t_f} = 1 - 2Bi^2 \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\exp(-\mu_n^2 Fo)}{\mu_n^2 (Bi^2 + Bi + \mu_n^2)} \quad (3.50)$$

Trong đó  $t_{ib}(\tau_1)$  là nhiệt độ trung bình của tấm phẳng từ thời điểm  $\tau = \tau_1$  đến hết quá trình trao đổi nhiệt với môi trường  $\tau = \infty$ .

Như vậy, nếu biết  $\frac{Q(0 \rightarrow \tau_1)}{Q(0 \rightarrow \infty)}$  và giá trị Bi ta hoàn toàn có thể tìm được tiêu chuẩn

Fourier tương ứng Fo.

Do đó thời gian đốt nóng hoặc làm nguội tương ứng bằng:  $\tau = \frac{Fo \cdot L^2}{\alpha}$

Như chúng ta đã thảo luận ở trên, do mô hình toán học của bài toán dẫn nhiệt và khuếch tán âm với điều kiện biên loại 3 là như nhau. Do đó, nếu kí hiệu  $W(0 \rightarrow \tau_1)$  là lượng âm trao đổi với môi trường từ thời điểm ban đầu ( $\tau = 0$ ) ứng với độ âm ban đầu của VLS  $\omega_{ko}$

đến hết quá trình sấy ( $\tau = \tau_1$ ) tương ứng với độ ẩm của VLS  $\omega_{ktb}$  và  $W(0 \rightarrow \infty)$  là lượng ẩm trao đổi giữa VLS với môi trường từ độ ẩm VLS  $\omega_{ko}$  đến độ ẩm VLS bằng độ ẩm cân bằng  $\omega_{kcb}$  hay  $\tau = \infty$  thì theo quan hệ (3.50) đối với quá trình sấy sẽ lấy dạng:

$$\frac{W(0 \rightarrow \tau_1)}{W(0 \rightarrow \infty)} = 1 - \frac{\omega_{ktb}\tau_1 - \omega_{ke}}{\omega_{ko} - \omega_{ke}} = 1 - 2Bi_m^2 \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\exp(-\mu_n^2 Fo_m)}{\mu_n^2 (Bi_m^2 + Bi_m + \mu_n^2)} \quad (3.51)$$

Từ (3.51) nếu biết  $\frac{W(0 \rightarrow \tau_1)}{W(0 \rightarrow \infty)}$  và  $Bi_m$  ta dễ dàng tìm được  $Fo_m$  và thời gian sấy được

$$\text{xác định bởi công thức: } \tau = Fo_m L^2 / \alpha_m \quad (3.52)$$

Trong mục kế tiếp, chúng tôi sẽ trình bày chi tiết kết quả ứng dụng phương pháp này để xác định thời gian sấy trong thiết bị sấy do chúng tôi thiết kế và chế tạo.

### 3.4. Kết quả thực nghiệm xác định khối lượng riêng $\rho_v$ của phần hoa

Để xác định quan hệ hàm gần đúng  $\rho_v = f(\omega, d)$ . Ta tiến hành thí nghiệm theo phương pháp quy hoạch thực nghiệm TYT bậc II phương án bất biến quay. Số lượng thí nghiệm được xác định theo công thức sau:

$$N = 2^k + 2k + n_0 = 2^2 + 2.2 + 3 = 11$$

Bằng thực nghiệm, đã xác định được khối lượng riêng  $\rho_v$  của phần hoa như sau:

$$\rho_v = 655,384 + 2,33123\omega - 11,9173d + 0,22333\omega d - 0,0300741\omega^2 - 0,376667d^2$$

### 3.5. Thực nghiệm kiểm tra sai số của phương pháp và thiết bị thí nghiệm

Để kiểm tra đánh giá sai số của phương pháp và thiết bị thí nghiệm do chúng tôi đề xuất và thiết kế chế tạo, chúng tôi dùng phương pháp so sánh. Cụ thể, trong luận án này chúng tôi dùng gạo và phần hoa ở Cộng Hòa Slovak làm vật liệu so sánh.

#### ❖ Vật liệu gạo:

- Hệ số dẫn nhiệt, hệ số khuếch tán nhiệt của gạo được tính toán theo kết quả thí nghiệm:

$$\lambda = 0,1132 \text{ (W/m.K)}; a = 1,53 \times 10^{-7} \text{ (m}^2/\text{s)}$$

- Hệ số dẫn nhiệt, hệ số khuếch tán nhiệt của gạo đã được công bố.

$$\lambda = 0,1050 \text{ (W/m.K)}; a = 1,42 \times 10^{-7} \text{ (m}^2/\text{s)}$$

- Sai số hệ số dẫn nhiệt tính toán so với số liệu đã công bố là 7.8%

- Sai số hệ số khuếch tán nhiệt tính toán so với số liệu đã công bố là 7.7%

#### ❖ Vật liệu phần hoa:

- Giá trị các hệ số dẫn nhiệt, hệ số khuếch tán nhiệt của phần hoa được xác định bằng phương pháp và thí nghiệm do chúng tôi đề xuất bằng ở nhiệt độ 21°C là

$$\lambda = 0,1253 \text{ (W/m.K)}; a = 1,4106 \times 10^{-7} \text{ (m}^2/\text{s)}$$

- Theo Monika Bozikova và ctv (2015), hệ số dẫn nhiệt, hệ số khuếch tán nhiệt của phần hoa bằng:  $\lambda = 0,124 \text{ (W/m.K)}; a = 1,48 \times 10^{-7} \text{ (m}^2/\text{s)}$

- Sai số hệ số dẫn nhiệt tính toán so với số liệu đã công bố: 1,05%

- Sai số hệ số khuếch tán nhiệt tính toán so với số liệu đã công bố: 4,9%

#### ❖ Nhận xét:

Từ kết quả trên ta thấy sai số của hệ số dẫn nhiệt, hệ số khuếch tán nhiệt của gạo và phần hoa từ thực nghiệm so với số liệu đã công bố khoảng 8% và 5%. Sai số này theo chúng tôi là có thể chấp nhận được. Sai số này có thể do các nguyên nhân sau:

- Sai số trong phương pháp xác định hệ số dẫn nhiệt, hệ số khuếch tán nhiệt do nghiệm của

cơ sở phương pháp là nghiệm gần đúng.

- Sai số trong chế tạo thiết bị thí nghiệm
- Sai số trong trình vận hành và đo đạc.

Điều này, về mặt thực nghiệm gián tiếp một lần nữa chứng minh rằng, phương pháp xác định đồng thời các hệ số dẫn nhiệt (3.24) và hệ số khuếch tán nhiệt (3.25) do chúng tôi kiến nghị là đúng đắn và đáng tin cậy.

Vì vậy chúng tôi sẽ tiếp tục dùng phương pháp và thiết bị thí nghiệm này tiến hành thực nghiệm xác định hệ số dẫn nhiệt, hệ số khuếch tán nhiệt, nhiệt dung riêng của phân hoa.

### 3.6. Thực nghiệm xác định hệ số dẫn nhiệt, hệ số khuếch tán nhiệt, nhiệt dung riêng

Thí nghiệm được tiến hành theo quy hoạch thực nghiệm TYT bậc I với số thí nghiệm:

$$N = 2^k + n_0 = 2^2 + 3 = 7$$

Bằng thực nghiệm, đã xác định được các thông số nhiệt vật lý của phân hoa như sau:

- Hệ số dẫn nhiệt  $\lambda = f(\omega, t)$ :

$$\lambda = 0,0416661 + 3,07083 \cdot 10^{-3} \cdot t + 2,4625 \cdot 10^{-4} \cdot \omega + 1,875 \cdot 10^{-5} \cdot t \cdot \omega, \text{ W/(m.K)}$$

- Hệ số khuếch tán nhiệt  $a = f(\omega, t)$

$$a \cdot 10^7 = 0,584982 + 0,034325 \cdot t + 3,695 \cdot 10^{-3} \cdot \omega, \text{ (m}^2/\text{s)}$$

- Nhiệt dung riêng,  $C = f(\omega, t)$ :

$$C = 1182,3 + 4,0025 \cdot t + 0,9055 \cdot \omega, \text{ J/(kg.K)}$$

### 3.7. Thực nghiệm xác định hệ số khuếch tán ẩm, hệ số truyền ẩm phân hoa

Thí nghiệm được tiến hành theo quy hoạch thực nghiệm bậc II dạng bất biến quay với số lượng thí nghiệm được xác định theo công thức sau:

$$N = 2^k + 2k + n_0 = 2^2 + 2 \cdot 2 + 3 = 11$$

Bằng thực nghiệm, đã xác định được hệ số dẫn ẩm và hệ số khuếch tán ẩm của phân hoa như sau:

- Hệ số truyền ẩm  $h_m = f(v, t)$ :

$$h_m \cdot 10^7 = 7,45433 - 0,145997 \cdot t + 1,72653 \cdot v + 2,76717 \cdot 10^{-3} \cdot t^2 - 0,789661 \cdot v^2$$

- Hệ số khuếch tán ẩm  $a_m = f(v, t)$ :

$$a_m \cdot 10^9 = -13,2718 + 0,713625 \cdot t + 2,87608 \cdot v - 5,31633 \cdot 10^{-3} \cdot t^2 - 1,32833 \cdot v^2$$

### 3.8. Thực nghiệm đánh giá sai số giữa thời gian sấy lý thuyết và thực tế

TTN	Thời gian sấy thực tế $\tau_{TT}$ (phút)	Thời gian sấy lý thuyết $\tau_{LT}$ (phút)	Sai số (%)
1	223	204,6	8,25
2	255	232,0	9,02
3	317	289,6	8,64

Bảng 3.1. Đánh giá sai số thời gian sấy

#### ❖ Nhận xét:

Qua thực nghiệm, chúng tôi đã xác định được sai số giữa thời gian sấy phân hoa thực tế và thời gian sấy lý thuyết được tính bằng phương pháp tương tự trên cơ sở bộ thông số nhiệt vật lý đã tìm được ở trước là khoảng 9%. Sai số này là hoàn toàn có thể chấp nhận được. Theo chúng tôi sai số này do những nguyên nhân sau:

- Sai số trong tính toán thiết kế.
- Sai số trong chế tạo thiết bị sấy.

- Sai số trong quá trình vận hành và đo đạc.
- Sai số trong phương pháp xác định hệ số dẫn ẩm, hệ số khuếch tán ẩm.
- Sai số trong phương pháp xác định thời gian sấy.
- Sai số trong chế tạo thiết bị thí nghiệm xác định hệ số dẫn ẩm, hệ số khuếch tán ẩm.

Qua đây, một lần nữa gián tiếp minh chứng rằng, phương pháp xác định đồng thời các hệ số dẫn nhiệt, hệ số khuếch tán nhiệt hệ số dẫn ẩm và hệ số khuếch tán ẩm, do chúng tôi đề xuất là đáng tin cậy và giá trị của bộ thông số nhiệt vật lý của phân hoa vừa xác định là chấp nhận được.

### 3.9. Thực nghiệm xác định chế độ sấy thích hợp

Nhằm một lần nữa xác định ảnh hưởng của cơ cấu đảo trộn vật liệu và chiều chuyển động của tác nhân sấy đến thời gian sấy. Chúng tôi tiến hành bốn thực nghiệm sấy cùng năng suất 10kg/mẻ với các chế độ sấy khác nhau

Qua kết quả thực nghiệm chúng tôi thấy rằng: với cùng nhiệt độ và vận tốc, khi tác nhân sấy chuyển động vuông góc, có cào đảo trộn vật liệu sấy thì thời gian sấy là nhỏ nhất. Vì vậy, chúng tôi chọn chiều TNS chuyển động vuông góc, có cào đảo trộn vật liệu trong quá trình sấy để tiến hành thực nghiệm.

### 3.10. Qui hoạch thực nghiệm sấy phân hoa bằng TBS bơm nhiệt có đảo trộn.

#### 3.10.1. Thực nghiệm đơn yếu tố

Thực nghiệm đơn yếu tố thông số chu kỳ đảo trộn để xác định ảnh hưởng cũng như vùng giá trị ảnh hưởng của nó đến chỉ tiêu đầu ra của máy là chi phí điện năng riêng Ar (kWh/kg), phần trăm hàm lượng vitamin C (%), tỉ lệ thu hồi sản phẩm M (%).

#### 3.10.2. Thực nghiệm đa yếu tố

##### 3.10.2.1. Phát biểu bài toán hộp đen

###### ❖ Xác định các thông số đầu ra:

- $Y_1$ : Chi phí điện năng riêng (kWh/kg).
- $Y_2$ : Phần trăm hàm lượng Vitamin C (%).
- $Y_3$ : Tỉ lệ thu hồi sản phẩm (%)

###### ❖ Xác định các thông số đầu vào:

- $X_1$ : nhiệt độ tác nhân sấy ( $^{\circ}\text{C}$ ).  $t = 35 \div 45^{\circ}\text{C}$ .
- $X_2$ : Vận tốc của tác nhân sấy (m/s).  $v = 0,6 \div 1,4 \text{ m/s}$
- $X_3$ : Chu kỳ đảo trộn (tg, phút).  $\text{tg} = 10 \div 30 \text{ phút}$ .

##### 3.10.2.2. Kế hoạch thực nghiệm bậc I

Qua kết quả thực nghiệm ta thấy mô hình đa thức bậc I không phù hợp cho việc biểu diễn mối quan hệ hàm số giữa chi phí điện năng riêng, phần trăm hàm lượng vitamin C, cũng như tỉ lệ thu hồi sản phẩm với nhiệt độ, vận tốc và thời gian thực hiện cào đảo trộn.

##### 3.10.2.3. Kế hoạch thực nghiệm bậc II

###### ❖ Lập ma trận thí nghiệm

Ma trận thí nghiệm bậc II theo phương án bất biến quay không có tính chất trực giao. Số lượng thí nghiệm được xác định theo công thức sau:

$$N = 2^k + 2k + n_0 = 2^3 + 2.3 + 5 = 19$$

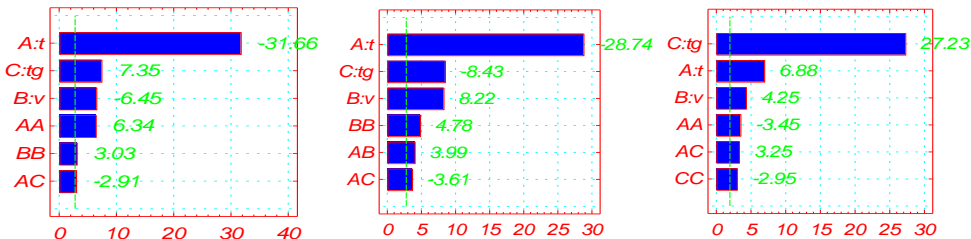
Trong đó:  $k$  – số yếu tố nghiên cứu

$n_0$  – số lượng thí nghiệm lặp ở mức cơ sở, chọn  $n_0 = 5$ .

###### ❖ Kết quả thí nghiệm

Tiến hành thực nghiệm theo ma trận thí nghiệm đã lập ta tiến hành phân tích phương sai và kiểm tra sự tương thích của mô hình cho cả ba hàm toán đa thức bậc II. Đã xây dựng được mô hình toán học biểu diễn mối quan hệ giữa chi phí năng lượng điện của quá trình sấy, phần trăm hàm lượng vitamin C trong phần hoa, tỉ lệ thu hồi sản phẩm sau khi sấy trên máy sấy bơm nhiệt:

- $Ar = 3,22004 - 0,0808281.t - 0,520648.v + 0,0429226.tg - 9,5.10^{-4}.t.tg + 7,76229.10^{-4}.t^2 + 0,198626.v^2$
- $\%C = 156,754 - 2,10476.t - 46,2889.v + 0,951708.tg + 0,8475.t.v - 0,03065.t.tg + 9,53674.v^2$
- $\%M = 85,9677 + 0,374404.t + 0,375264.v + 0,01721864.tg + 3,0.10^{-3}.t.tg - 4,82347.10^{-3}.t^2 - 1,02909.10^{-3}.tg^2$



Hình 3.3. Đồ thị ảnh hưởng các hệ số hồi quy đến chi phí điện năng riêng  $Ar$ , phần trăm vitamin (%C) và tỷ lệ thu hồi sản phẩm (%M)

#### ❖ Xác định các thông số và chỉ tiêu thích hợp.

- Thông số tối ưu:
  - Nhiệt độ tác nhân sấy tối ưu:  $t = 40,7^{\circ}C$
  - Vận tốc tác nhân sấy tối ưu:  $v = 1,42m/s$
  - Chu kỳ đảo trộn tối ưu:  $tg = 12,5$  phút
- Chỉ tiêu tối ưu:
  - Chi phí năng lượng riêng,  $Ar$ :  $0,93 kWh/kg$
  - Phần trăm vitamin %C:  $70,0\%$
  - Tỉ lệ thu hồi sản phẩm: %M:  $95,0\%$

### 3.11. Thực nghiệm xây dựng đường cong sấy ở chế độ thích hợp

Từ kết quả thông số làm việc thích hợp của máy xác định được bằng phương pháp qui hoạch thực nghiệm đa yếu tố: nhiệt độ tác nhân sấy :  $t = 40,7^{\circ}C$ , vận tốc tác nhân sấy:  $v = 1,42 m/s$ , chu kỳ đảo trộn:  $tg = 12,5$  phút. Ta tiếp tục tiến hành 3 thực nghiệm trên cơ sở thông số làm việc thích hợp sau đó lấy giá trị trung bình để xác định thời gian sấy.

Từ kết quả thực nghiệm, sử dụng phương pháp bình phương nhỏ nhất và phần mềm Microsoft Excel 2013 để phân tích, ta xây dựng được đường cong sấy theo thực tế và phương trình tiên đoán giảm ẩm  $\omega(\%)$  theo thời gian  $\tau(s)$  dựa trên các mô hình xác định thời gian sấy của Newton, Wang and Singh, Henderson and Pabis,... (Carl W.Hall và ctv, 2006; Evagelos và ctv, 2007; C.M. Van't Lan, 2011) trong quá trình sấy phần hoa như sau:

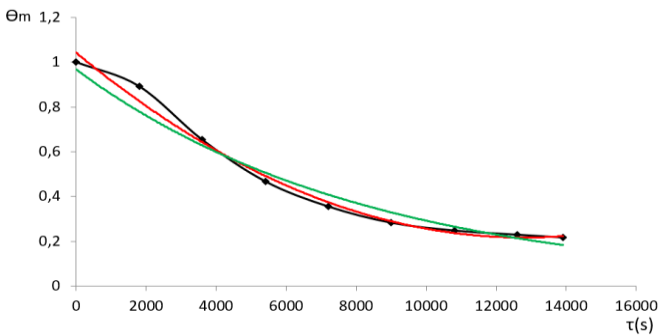
- Mô hình Henderson and Pabis:

$$\Theta_m = 0,967259 \exp(-0,00012\tau) \quad R^2 = 0,9614$$

- Mô hình Wang and Singh:

$$\Theta_m = 5E-09\tau^2 - 0,0001\tau + 1,042 \quad R^2 = 0,9893$$





— : Đường cong sấy thực nghiệm  
 — : Đường cong sấy tiên đoán theo mô hình Henderson and Pabis  
 — : Đường cong sấy tiên đoán theo mô hình Wang and Singh

Hình 3.4. Đường cong sấy

### ❖ Nhận xét:

- Qua thực nghiệm, xác định được thời gian sấy là 13900 giây (3h52')
- Qua đồ thị ta thấy đường cong tiên đoán thể hiện phân bố độ ẩm trung bình của phần hoa theo thời gian có hình dáng tương tự như đường cong sấy của các nghiên cứu trước. Tuy nhiên, hệ số tương quan theo mô hình của Wang and Singh ( $R^2 = 0,9893$ ) lớn hơn mô hình của Henderson and Pabis ( $R^2 = 0,961$ ).

### 3.13. Kết luận chương 3.

Trong chương này, qua nghiên cứu lý thuyết truyền nhiệt truyền chất trong VLA và thực nghiệm trên các mô hình đã đề xuất, chúng tôi đã thu được những kết quả sau:

- Xây dựng một phương pháp mới đồng thời xác định các hệ số dẫn nhiệt, hệ số khuếch tán nhiệt, nhiệt dung riêng cho phần hoa nói riêng và cho vật liệu ẩm nói chung theo công thức (3.24), (3.25) và (3.26).

- Trình bày cơ sở lý thuyết và thuật toán để thực nghiệm xác định đồng thời hệ số truyền ẩm và hệ số khuếch tán ẩm của phần hoa.

- Trình bày nội dung cơ bản và thuật toán của phương pháp tương tự để xác định thời gian sấy cho thiết bị sấy đối lưu bằng bơm nhiệt phần hoa do chúng tôi thiết kế chế tạo.

- Bằng thực nghiệm, đã xây dựng mô hình toán các thông số nhiệt vật lý của phần hoa.

- Đã đưa ra được sai số giữa thời gian sấy thực tế và thời gian sấy lý thuyết tính bằng phương pháp tương tự trên cơ sở bộ thông số nhiệt vật lý đã tìm được là khoảng 9%

- Đã xác định được TBS phần hoa bằng bơm nhiệt hồi lưu toàn phần với TNS chuyển động vuông góc lớp VLS, có cào đảo trộn vật liệu trong quá trình sấy thì thời gian sấy là nhỏ nhất.

- Bằng phương pháp qui hoạch thực nghiệm trên TBS phần hoa được tính toán thiết kế với các thông số nhiệt vật lý tìm được. Đã xác định được mô hình toán học biểu diễn quan hệ giữa chi phí điện năng riêng, phần trăm hàm lượng vitamin C và tỉ lệ thu hồi sản phẩm với nhiệt độ, vận tốc tác nhân sấy, chu kỳ đảo trộn.

- Trên cơ sở mô hình toán về chi phí điện năng riêng Ar, phần trăm hàm lượng vitamin %C, tỉ lệ thu hồi sản phẩm %M bằng phương pháp tối ưu hóa đã xác định chế độ sấy thích hợp cho thiết bị sấy phần hoa bằng phương pháp sấy bơm nhiệt có đảo trộn như sau: Nhiệt độ của tác nhân sấy  $t = 40,7 \text{ }^\circ\text{C}$ ; vận tốc tác nhân sấy  $v = 1,42\text{m/s}$ ; chu kỳ đảo trộn  $\text{tg} =$

12,5 phút, đảo trộn bắt đầu sau khi máy hoạt động 40 phút. Chỉ tiêu đạt được: chi phí điện năng riêng Ar: 0,93 kWh/kg, phần trăm hàm lượng vitamin C: 70,0%, tỉ lệ thu hồi sản phẩm: 95,0%

- Xây dựng được phương trình tiên đoán giảm ẩm  $\theta_m$  (%) theo thời gian  $\tau$ (s) trên cơ sở mô hình Wang and Singh trong quá trình sấy phân hoa như sau:

$$\theta_m = 5E-09\tau^2 - 0,0001\tau + 1,042 \quad R^2 = 0,9893$$

## KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

### ❖ KẾT LUẬN

Với các mục tiêu nghiên cứu, nội dung nghiên cứu và phạm vi nghiên cứu. Luận án đã nghiên cứu lịch sử sản xuất phân hoa trên thế giới và Việt Nam, phân tích ưu nhược điểm trên cơ sở khoa học và thực tiễn. Thực hiện kết hợp giữa nghiên cứu lý thuyết truyền nhiệt - truyền chất và thực nghiệm luận án đã thu được 10 kết quả mới như sau:

1. Đã đề xuất thiết bị sấy phân hoa cho qui mô hộ gia đình ở Việt Nam là TBS bằng bơm nhiệt hồi lưu toàn phần với TNS chuyên động vuông góc với lớp VLS, có cào đảo trộn vật liệu trong quá trình sấy.
2. Nghiên cứu lý thuyết về truyền nhiệt, truyền chất, xây dựng mô hình vật lý, mô hình toán lý thuyết đã đề xuất một phương pháp mới đồng thời xác định hệ số dẫn nhiệt, hệ số khuếch tán nhiệt, nhiệt dung riêng cho vật liệu ẩm nói chung và phân hoa nói riêng theo các công thức sau:

- Hệ số dẫn nhiệt: 
$$\lambda = \frac{4qL(t_b(\tau) - t_0)}{\pi(t_1(\tau) - t_0)^2}, \text{ W/(m.K)}$$

- Hệ số khuếch tán nhiệt: 
$$a = \frac{4L^2(t_b(\tau) - t_0)^2}{\pi\tau(t_1(\tau) - t_0)^2}, \text{ m/s}$$

- Nhiệt dung riêng 
$$C_v = \frac{q\tau}{L(t_b - t_0) \cdot \rho_v}, \text{ J/(kg.K)}$$

Luận án đã thực nghiệm để xác định độ sai lệch giữa lý thuyết xây dựng và thực tiễn đo đạc và khẳng định được lý thuyết xây dựng là phù hợp.

3. Kiến nghị một thuật toán để thực nghiệm xác định đồng thời hệ số truyền ẩm và hệ số khuếch tán ẩm của phân hoa.
4. Bằng thực nghiệm đã xây dựng được mô hình toán học xác định các thông số nhiệt vật lý của phân hoa như sau:

- Khối lượng riêng  $\rho_v$ :

$$\rho_v = 655,348 + 2,33123.\omega - 11,9173.d + 0,22333.\omega.d - 0,0300741.\omega^2 - 0,376667.d^2$$

- Hệ số dẫn nhiệt  $\lambda = f(\omega, t)$ :

$$\lambda = 0,0416661 + 3,07083.10^{-3}.t + 2,4625.10^{-4}.\omega + 1,875.10^{-5}.t.\omega$$

- Hệ số khuếch tán nhiệt  $a = f(\omega, t)$ :

$$a.10^7 = 0,584982 + 0,034325.t + 3,695.10^{-3}.\omega$$

- Nhiệt dung riêng,  $C = f(\omega, t)$ :

$$C = 1182,3 + 4,0025.t + 0,9055.\omega$$

- Hệ số dẫn ẩm:

$$h_m.10^7 = 7,45433 - 0,145997.t + 1,72653.v + 2,76717.10^{-3}.t^2 - 0,789661.v^2$$

- Hệ số khuếch tán ẩm:

$$a_m.10^9 = -13,2718 + 0,713625.t + 2,87608.v - 5,31633.10^{-3}.t^2 - 1,32833.v^2$$

5. Kiến nghị một thuật toán xác định để xác định thời gian sấy bằng phương pháp tương tự do Trần Văn Phú đề xuất cho thiết bị sấy phần hoa đối lưu bằng bơm nhiệt.

6. Luận án đã thiết kế, chế tạo một mô hình máy sấy phần hoa phù hợp trên các thông số nhiệt vật lý tìm được.

7. Trên TBS phần hoa được chế tạo, bằng phương pháp qui hoạch thực nghiệm, đã xác định được mô hình toán học biểu diễn sự phụ thuộc giữa chi phí điện năng riêng Ar, phần trăm hàm lượng vitamin C và tỉ lệ thu hồi sản phẩm với nhiệt độ, vận tốc tác nhân sấy và chu kỳ đảo trộn như sau:

$$Ar = 3,22004 - 0,0808281.t - 0,520648.v + 0,0429226.tg - 9,5.10^{-4}.t.tg + 7,76229.10^{-4}.t^2 + 0,198626.v^2$$

$$\%C = 156,754 - 2,10476.t - 46,2889.v + 0,951708.tg + 0,8475.t.v - 0,03065.t.tg + 9,53674.v^2$$

$$\%M = 85,9677 + 0,374404.t + 0,375264.v + 0,01721864.tg + 3,0.10^{-3}.t.tg - 4,82347.10^3.t^2 - 1,02909.10^{-3}.tg^2$$

8. Trên cơ sở các phương trình hồi quy này, luận án đã dùng phương pháp tối ưu để xác định các thông số làm việc phù hợp cho TBS như sau:

- Nhiệt độ tác nhân sấy  $t = 40,7 \text{ }^\circ\text{C}$

- Vận tốc tác nhân sấy  $v = 1,42 \text{ m/s}$

- Chu kỳ đảo trộn  $tg = 12,5$  phút, bắt đầu sau khi máy hoạt động 40 phút.

- Chi phí điện năng riêng  $Ar = 0,93 \text{ kWh/kg}$

- Phần trăm hàm lượng vitamin C,  $\%C = 70,0\%$

- Tỉ lệ thu hồi sản phẩm,  $\%M = 95,0\%$

9. Xây dựng được phương trình tiên đoán giảm ẩm  $\omega$  (%) theo thời gian  $\tau$ (s) trong quá trình sấy phần hoa như sau:

$$\Theta_m = 5E-09\tau^2 - 0,0001\tau + 1,042 \quad (R^2 = 0,9893)$$

10. Kết quả của luận án cũng đã chuyển giao vào thực tiễn sản xuất tại công ty TNHH Cửu Long Bee, sản phẩm sau khi sấy được xã hội chấp nhận với giá trị chất lượng và có tính hiệu quả kinh tế.

Tóm lại: luận án đã nghiên cứu một cách trọn vẹn từ việc lựa chọn mô hình thích hợp, đến nghiên cứu lý thuyết, thực nghiệm xác định chế độ sấy phù hợp và đã đưa vào sản xuất, được xã hội chấp nhận.

#### ❖ KIẾN NGHỊ

1. Tiếp tục nghiên cứu bằng lý thuyết trên cơ sở mà luận án đã đạt được, nghiên cứu cho các loại vật liệu ẩm khác nhau để khẳng định nhiều hơn về hệ số về lý thuyết truyền nhiệt, truyền chất cho VLA nói chung.

2. Thực nghiệm trên các loại phần hoa có thành phần hóa học, vật lý, sinh học khác nhau, để điều chỉnh kết cấu, chi tiết máy phù hợp cho từng địa phương ứng dụng.

3. Nghiên cứu phát triển tính đa dạng sản phẩm sấy cho các vật liệu sấy tương tự trên thiết bị sấy đã đề xuất.

4. Nghiên cứu cho xuất khẩu với quy mô phù hợp với yêu cầu xuất khẩu trên thị trường thế giới.