

## **Nghiên cứu thử nghiệm sấy nông sản, thảo dược để đánh giá, hoàn thiện máy sấy sử dụng tích hợp điện và năng lượng mặt trời**

**An experimental research of drying the agricultural products and herbs to evaluate and complete the electric-solar integrated dryer**

Nguyễn Như Tùng<sup>1,\*</sup>, Phạm Thanh Loan<sup>2</sup>, Nguyễn Đức Lợi<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Trường Đại học Công nghiệp Hà Nội

<sup>2</sup>Trường Đại học Hùng Vương

\*Email: tungnn@hau.edu.vn

Tel: +84-437655121-321; Mobile: 0988480490

---

### **Tóm tắt**

#### *Từ khóa:*

Sấy nông sản, Sấy thảo dược, Sấy năng lượng mặt trời, Sấy thử nghiệm

Nghiên cứu này được thực hiện trên máy sấy sử dụng tích hợp điện và năng lượng mặt trời. Quá trình thử nghiệm được thực hiện để đánh giá độ ổn định của nhiệt độ sấy, đánh giá thời gian gia nhiệt ở các điều kiện cách nhiệt và thoát ẩm khác nhau. Ngoài ra, nghiên cứu còn thực hiện để xác định ảnh hưởng của chế độ thoát ẩm đến kết quả sấy. Kết quả thử nghiệm đã chỉ ra độ chính xác về nhiệt độ sấy của máy khá cao 99,2%, thời gian gia nhiệt ở các điều kiện khác nhau là hoàn toàn khác nhau, với công suất đèn hồng ngoại là 1050W, cách nhiệt hai lớp, tốc độ quạt hút ẩm điều khiển chủ động sẽ cho thời gian gia nhiệt nhanh và tiết kiệm nhiệt nhất. Trong quá trình sấy, tốc độ quạt hút ẩm được điều khiển thay đổi tỷ lệ thuận với độ ẩm không khí sấy khi độ ẩm không khí sấy thay đổi từ 15% đến 60% cho hiệu quả sấy tốt nhất. Các kết quả thử nghiệm được sử dụng nhằm hoàn thiện máy sấy cũng như nâng cao hiệu quả quá trình sấy nông sản, thảo dược.

---

### **Abstract**

#### *Keywords:*

Drying the agricultural products, Drying the herbs, Solar drying, Drying test.

This study was conducted by using the electric and solar integrated dryer. The test was carried out to evaluate the stability of the drying temperature and to evaluate the heating time in different conditions of insulation and moisture exhaustion. Additionally, the study was conducted to determine the effects of moisture exhaust modes on the drying results. The results showed that the accuracy of the drying temperature of the machine is quite high at 99.2%, the heating time varies in different conditions, with an infrared light output of 1050W, two-layer insulation, controlling of the speed of the moisture exhaust fan provided the fastest heating and the most heat conserving. During the drying process, the drying efficiency is the highest when the speed of the moisture exhaust fan is controlled proportionally to the humidity of the drying air from 15% to 60%. The test results are used to improve the dryer as well as to increase the efficiency of the drying of the agricultural products and herbs.

---

Ngày nhận bài: 29/06/2018

Ngày nhận bài sửa: 07/9/2018

Ngày chấp nhận đăng: 15/9/2018

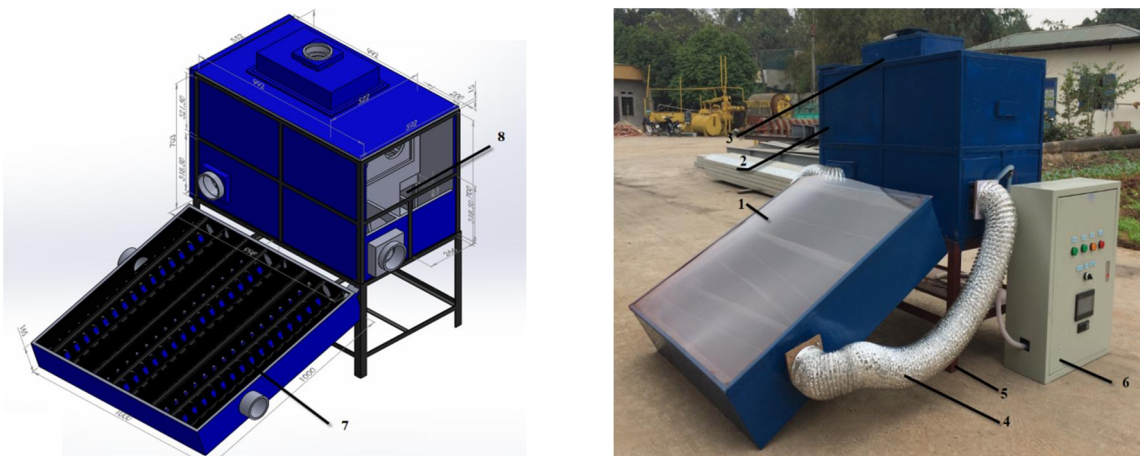
---

## 1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Năng lượng tái tạo là nguồn năng lượng rất quan trọng trong việc nâng cao năng suất lao động, bảo vệ môi trường, đặc biệt là ở các nước đang phát triển [1]. Năng lượng mặt trời được ưa chuộng hơn các nguồn năng lượng thay thế khác như gió, sinh hóa,... vì đây là nguồn năng lượng phong phú, vô tận và không gây ô nhiễm [2, 3]. Máy làm khô không khí sử dụng năng lượng mặt trời được ứng dụng với các yêu cầu nhiệt độ thấp đến trung bình dưới  $80^{\circ}\text{C}$ , như sấy khô và làm nóng không gian, sấy nông sản, thảo dược,... [4]. Quá trình sấy được định nghĩa là một quá trình loại bỏ độ ẩm do sự trao đổi đồng thời giữa nhiệt và khối lượng [5]. Phương pháp phơi khô truyền thống tồn tại nhiều nhược điểm như: Nông sản, thực phẩm tiếp xúc với mưa và bụi; Sấy không kiểm soát; Sự xâm nhập của côn trùng [6-8]. Máy sấy sử dụng năng lượng mặt trời có khả năng làm giảm đáng kể các bất lợi nói trên của việc phơi khô truyền thống; nghiên cứu về sấy bằng năng lượng mặt trời đã nhận được sự quan tâm đáng kể trong những năm vừa qua [9,10]. Máy sấy năng lượng mặt trời được thiết kế và chế tạo theo hai phương pháp: Phương pháp thứ nhất là sử dụng trực tiếp nguồn năng lượng mặt trời để sấy khô. Phương pháp này thường khá đơn giản, giá thành thấp, dễ vận hành sử dụng. Tuy nhiên, hiệu quả, năng suất không cao, đồng thời không chủ động được thời gian sấy nhất là trong điều kiện thời tiết không thuận lợi. Phương pháp thứ 2 là phương pháp sấy gián tiếp, năng lượng mặt trời được tích lũy dưới các dạng năng lượng khác (nước nóng, không khí nóng,...) sau đó các nguồn nhiệt này sẽ chuyển thành nhiệt để làm khô vật sấy. Phương pháp này có hiệu quả và năng suất cao, có thể sử dụng trong những điều kiện thời tiết thay đổi khác nhau, tuy nhiên chế tạo phức tạp, chi phí sản xuất cao [11,12]. Các nghiên cứu chủ yếu tập trung cho việc làm khô một số loại nông, thảo dược bằng nguồn năng lượng mặt trời trực tiếp. Rất ít có nghiên cứu về việc thiết kế, tích hợp và chế tạo máy sấy có hệ thống cấp bù và ổn định nhiệt cho quá trình sấy. Vì vậy, việc nghiên cứu, thử nghiệm và hoàn thiện máy sấy nông sản, thảo dược sử dụng tích hợp điện và năng lượng mặt trời là cần thiết.

## 2. THIẾT BỊ THỬ NGHIỆM

Máy được sử dụng để thử nghiệm là máy sấy sử dụng tích hợp điện và năng lượng mặt trời (hình 1).



(1) Bộ thu nhiệt từ năng lượng mặt trời (2) Buồng sấy (3) Bộ hút ẩm chủ động (4) Ống dẫn nhiệt (5) Chân đế (6) Hệ thống điều khiển (7) Tấm kẽm thu nhiệt (8) Quạt tuần hoàn

**Hình 1.** Máy sấy sử dụng tích hợp điện và năng lượng mặt trời

Máy có các thông số kỹ thuật như sau: Nhiệt độ điều khiển: Từ 40°C đến 55°C, vật liệu tấm thu nhiệt: Kim loại Kẽm, dung tích của buồng sấy là:  $0,7 \times 0,7 \times 0,5 = 0,245\text{m}^3$ , số khay sấy là: 4 khay, công suất của hệ thống cấp bù nhiệt: Từ 750W đến 1050W, công suất của quạt tuần hoàn khí sấy là: 40W (Xoay chiều), công suất của quạt thoát ẩm là: 15W (Một chiều).

### 3. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU THỰC NGHIỆM

#### 3.1. Đánh giá thời gian gia nhiệt ở các điều kiện khác nhau

Thời gian gia nhiệt được thử nghiệm trong nhiều điều kiện khác nhau:

- Khác nhau về công suất của đèn hồng ngoại: 2 mức là 750 W và 1050 W.
- Thử nghiệm được thực hiện trong 2 điều kiện cách nhiệt của buồng sấy: Cách nhiệt chỉ bằng gỗ ép công nghiệp và cách nhiệt bao gồm cả gỗ ép công nghiệp và lớp bóng bạc chịu nhiệt.
- Thử nghiệm được thử hiện trong 2 điều kiện tải: Chạy không và sấy 6 kg giềng tươi (đã thái lát).
- Thử nghiệm được thực hiện với 3 chế độ thoát ẩm khác nhau: Thoát ẩm tự nhiên, thoát ẩm với tốc độ quạt tối đa, thoát ẩm chủ động (đến 45°C quạt thoát ẩm hoạt động, tốc độ quạt tỉ lệ thuận với độ ẩm của khí sấy).

Các điều kiện cụ thể của quá trình thực nghiệm được mô tả trong bảng 1.

**Bảng 1.** Thử nghiệm để xác định thời gian gia nhiệt của Máy sấy ở các điều kiện khác nhau

| TT | Điều kiện năng lượng               | Điều kiện cách nhiệt                                      | Điều kiện tải       | Điều kiện thoát ẩm  |
|----|------------------------------------|---|---------------------|---|
| 1  | Sử dụng 2 đèn với công suất 750 W  | Cách nhiệt bằng gỗ công nghiệp                            | Không tải           | Thoát ẩm tự nhiên   |
| 2  |                                    |   |                     | Quạt thoát ẩm chạy hết công suất                          |
| 3  |                                    |   |                     | Đến 45 °C quạt chạy, công suất quạt tỉ lệ thuận với độ ẩm |
| 4  |                                    |   | Tải 6 kg Riêng tươi | Thoát ẩm tự nhiên   |
| 5  |                                    |   |                     | Quạt thoát ẩm chạy hết công suất                          |
| 6  |                                    |   |                     | Đến 45 °C quạt chạy, công suất quạt tỉ lệ thuận với độ ẩm |
| 7  |                                    | Cách nhiệt bằng gỗ công nghiệp và lớp bóng bạc cách nhiệt | Không tải           | Thoát ẩm tự nhiên   |
| 8  |                                    |   |                     | Quạt thoát ẩm chạy hết công suất                          |
| 9  |                                    |   |                     | Đến 45 °C quạt chạy, công suất quạt tỉ lệ thuận với độ ẩm |
| 10 |                                    |   | Tải 6 kg Riêng tươi | Thoát ẩm tự nhiên   |
| 11 |                                    |   |                     | Quạt thoát ẩm chạy hết công suất                          |
| 12 |                                    |   |                     | Đến 45 °C quạt chạy, công suất quạt tỉ lệ thuận với độ ẩm |
| 13 | Sử dụng 4 đèn với công suất 1050 W | Cách nhiệt bằng gỗ công nghiệp                            | Không tải           | Thoát ẩm tự nhiên   |
| 14 |                                    |   |                     | Quạt thoát ẩm chạy hết công suất                          |
| 15 |                                    |   |                     | Đến 45 °C quạt chạy, công suất quạt tỉ lệ thuận với độ ẩm |
| 16 |                                    |   | Tải 6 kg Riêng tươi | Thoát ẩm tự nhiên   |
| 17 |                                    |   |                     | Quạt thoát ẩm chạy hết công suất                          |
| 18 |                                    |   |                     | Đến 45 °C quạt chạy, công suất quạt tỉ lệ thuận với độ ẩm |
| 19 |                                    | Cách nhiệt bằng gỗ công nghiệp và lớp bóng bạc cách nhiệt | Không tải           | Thoát ẩm tự nhiên   |
| 20 |                                    |   |                     | Quạt thoát ẩm chạy hết công suất                          |
| 21 |                                    |   |                     | Đến 45 °C quạt chạy, công suất quạt tỉ lệ thuận với độ ẩm |
| 22 |                                    |   | Tải 6 kg Riêng tươi | Thoát ẩm tự nhiên   |
| 23 |                                    |   |                     | Quạt thoát ẩm chạy hết công suất                          |
| 24 |                                    |   |                     | Đến 45°C quạt chạy, công suất quạt tỉ lệ thuận với độ ẩm  |

Với mỗi thử nghiệm, thời gian gia nhiệt trung bình sẽ được thống kê, phân tích và đánh giá.

### 3.2. Đánh giá độ ổn định nhiệt độ sấy

Tiến hành quá trình sấy với các điều kiện tải khác nhau: Sấy không tải, sấy với vật liệu sấy là củ Kiệu tươi, Dây thìa canh tươi, Củ giềng tươi (đã thái lát). Sau khi gia nhiệt đến nhiệt độ đặt (50°C), tiến hành lấy mẫu đo nhiệt độ của khí sấy. Sử dụng cảm biến PT100 dải đo: 0 - 200°C, độ chính xác 0,1°C của hãng DOO KWANG - Hàn Quốc, bộ phận nhận tín hiệu từ nhiệt độ từ bộ phận cấp nhiệt cưỡng bức và chuyển tín hiệu số gửi về PLC là bộ điều khiển nhiệt độ Dotech FX của Hàn Quốc (hình 2).



**Hình 2.** Cảm biến PT100 và bộ điều khiển nhiệt độ DOOTECH FX

Quá trình lấy mẫu đo được thực hiện liên tục (30 phút một lần) trong toàn bộ thời gian sấy. Quá trình đo và lấy mẫu được thực hiện với các điều kiện tải khác nhau (không tải, sấy củ Kiệu tươi, sấy dây Thìa canh tươi, sấy Giềng tươi). Các kết quả lấy mẫu sẽ được tổng hợp, so sánh và đánh giá.

### 3.3. Đánh giá sự ảnh hưởng của chế độ thoát ẩm đến kết quả quá trình sấy

Thử nghiệm này được xác định ở điều kiện công suất của hệ thống đèn hồng ngoại được sử dụng là: 1050W, cách nhiệt buồng sấy bao gồm hai lớp là lớp gỗ ép công nghiệp bên ngoài và lớp bóng bạc cách nhiệt bên trong. Vật liệu sấy là 6 kg riềng tươi, được sấy khô đến độ ẩm của không khí không thay đổi. Các thử nghiệm được tiến hành ở 4 chế độ thoát ẩm: Thoát ẩm tự nhiên (quạt không chạy), thoát ẩm với tốc độ quạt tối đa, thoát ẩm chủ động với tốc độ quạt thoát ẩm biến thiên khi độ ẩm không khí sấy biến thiên từ 30% đến 100% và thoát ẩm chủ động với tốc độ quạt thoát ẩm biến thiên khi độ ẩm không khí sấy biến thiên từ 15% đến 60%. Quá trình lấy mẫu giá trị đo của nhiệt độ và độ ẩm khí sấy được tiến hành 1 lần mỗi giờ, quá trình lấy mẫu kết thúc khi độ ẩm của không khí sấy không thay đổi trong nhiều giờ. Các dữ liệu về nhiệt độ và độ ẩm của không khí sấy sẽ được thống kê, tổng hợp và đánh giá.

Sử dụng cảm biến đo độ ẩm - hiển thị ProSens model: QM 621 của hãng Simex, Ba Lan, cảm biến độ ẩm chịu được nhiệt độ lên tới 120°C, độ chính xác 0,1 % cho tín hiệu đầu ra: 4-20 mA tương ứng với độ ẩm 0 - 100% (hình 3).



**Hình 3.** Cảm biến đo độ ẩm và hiển thị ProSens

## 4. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

### 4.1. Đánh giá thời gian gia nhiệt ở các điều kiện khác nhau

Kết quả đánh giá thời gian gia nhiệt được thống kê ở bảng 2. Kết quả chỉ ra rằng: Với công suất của bộ phận cấp bù nhiệt là 750W, thời gian gia nhiệt khá lâu (lớn hơn 30 phút), điều này có ảnh hưởng đến chất lượng không khí sấy cũng như khả năng điều khiển ổn định nhiệt độ khí sấy. Khi nâng công suất hệ thống cấp bù lên 1050W, thời gian gia nhiệt đã giảm xuống đáng kể (khoảng 12 phút), khoảng thời gian này có thể chấp nhận được trong sản xuất công nghiệp. Như vậy: Sử dụng công suất của hệ thống cấp bù nhiệt là 1050W đáp ứng được yêu cầu về thời gian gia nhiệt đối với máy sấy.

Khi so sánh thời gian gia nhiệt trong 2 điều kiện về cách nhiệt của buồng sấy là: Chỉ gồm 1 lớp gỗ ép công nghiệp và gồm 1 lớp gỗ công nghiệp và 1 lớp bóng bạc chịu nhiệt, kết quả thể hiện rõ ràng rằng: Khi thùng sấy có hai lớp cách nhiệt, thời gian gia nhiệt giảm đi rất nhiều (khoảng 15 phút) so với khi chỉ dùng một lớp cách nhiệt là gỗ ép công nghiệp. Vì vậy, khi hoàn thiện Máy sấy cần đảm bảo điều kiện cách nhiệt bao gồm một lớp gỗ ép công nghiệp bên ngoài và một lớp bóng bạc cách nhiệt bên trong của thùng sấy.

**Bảng 2.** Kết quả đánh giá thời gian gia nhiệt

| Thứ nghiệm | Điều kiện năng lượng               | Điều kiện cách nhiệt                                      | Điều kiện tải       | Điều kiện thoát ẩm                                       | Thời gian gia nhiệt |
|------------|------------------------------------|---|---------------------|--|---------------------|
| 1          | Sử dụng 2 đèn với công suất 750 W  | Cách nhiệt bằng gỗ công nghiệp                            | Không tải           | Thoát ẩm tự nhiên  | 30                  |
| 2          |                                    |   |                     | Quạt thoát ẩm chạy hết công suất                         | 50                  |
| 3          |                                    |   |                     | Đến 45°C quạt chạy, công suất quạt tỉ lệ thuận với độ ẩm | 31                  |
| 4          |                                    |   | Tải 6 kg Riêng tươi | Thoát ẩm tự nhiên  | 40                  |
| 5          |                                    |   |                     | Quạt thoát ẩm chạy hết công suất                         | 70                  |
| 6          |                                    |   |                     | Đến 45°C quạt chạy, công suất quạt tỉ lệ thuận với độ ẩm | 42                  |
| 7          |                                    | Cách nhiệt bằng gỗ công nghiệp và lớp bóng bạc cách nhiệt | Không tải           | Thoát ẩm tự nhiên  | 15                  |
| 8          |                                    |   |                     | Quạt thoát ẩm chạy hết công suất                         | 20                  |
| 9          |                                    |   |                     | Đến 45°C quạt chạy, công suất quạt tỉ lệ thuận với độ ẩm | 16                  |
| 10         |                                    |   | Tải 6 kg Riêng tươi | Thoát ẩm tự nhiên  | 20                  |
| 11         |                                    |   |                     | Quạt thoát ẩm chạy hết công suất                         | 32                  |
| 12         |                                    |   |                     | Đến 45°C quạt chạy, công suất quạt tỉ lệ thuận với độ ẩm | 22                  |
| 13         | Sử dụng 4 đèn với công suất 1050 W | Cách nhiệt bằng gỗ công nghiệp                            | Không tải           | Thoát ẩm tự nhiên  | 13                  |
| 14         |                                    |   |                     | Quạt thoát ẩm chạy hết công suất                         | 15                  |
| 15         |                                    |   |                     | Đến 45°C quạt chạy, công suất quạt tỉ lệ thuận với độ ẩm | 12                  |
| 16         |                                    |   | Tải 6 kg Riêng tươi | Thoát ẩm tự nhiên  | 17                  |
| 17         |                                    |   |                     | Quạt thoát ẩm chạy hết công suất                         | 25                  |
| 18         |                                    |   |                     | Đến 45°C quạt chạy, công suất quạt tỉ lệ thuận với độ ẩm | 19                  |
| 19         |                                    | Cách nhiệt bằng gỗ công nghiệp và lớp bóng bạc cách nhiệt | Không tải           | Thoát ẩm tự nhiên  | 8                   |
| 20         |                                    |   |                     | Quạt thoát ẩm chạy hết công suất                         | 15                  |
| 21         |                                    |   |                     | Đến 45°C quạt chạy, công suất quạt tỉ lệ thuận với độ ẩm | 9                   |
| 22         |                                    |   | Tải 6 kg Riêng tươi | Thoát ẩm tự nhiên  | 11                  |
| 23         |                                    |   |                     | Quạt thoát ẩm chạy hết công suất                         | 18                  |
| 24         |                                    |   |                     | Đến 45°C quạt chạy, công suất quạt tỉ lệ thuận với độ ẩm | 12                  |

So sánh thời gian gia nhiệt khi thoát ẩm bằng ba phương pháp: Thoát ẩm tự nhiên, thoát ẩm với công suất quạt tối đa, thoát ẩm với trường hợp quạt hoạt động khi nhiệt độ khí sấy là 45°C (gần nhiệt độ đặt) và công suất quạt chủ động thay đổi tỉ lệ thuận với độ ẩm của khí sấy: Kết quả chỉ ra rằng, thời gian gia nhiệt khi thoát ẩm tự nhiên là nhanh nhất, khi quạt thoát ẩm với công suất tối đa là lâu nhất, và trường hợp chủ động thì thời gian gia nhiệt nhanh gần bằng thoát ẩm tự nhiên. Tuy nhiên, việc thoát ẩm chủ động kiểm soát tốt độ ẩm của không khí sấy. Như vậy, để hoàn thiện máy sấy (giảm thời gian gia nhiệt) cần tăng công suất cấp nhiệt, tăng cường gia cố hệ thống cách nhiệt và ứng dụng chế độ thoát ẩm chủ động. Trong điều kiện công suất đèn cấp nhiệt 1050W, cách nhiệt bằng gỗ công nghiệp và lớp bóng bạc cách nhiệt, quạt thoát ẩm được điều khiển chủ động sẽ có thời gian gia nhiệt nhỏ nhất, khoảng 12 phút.

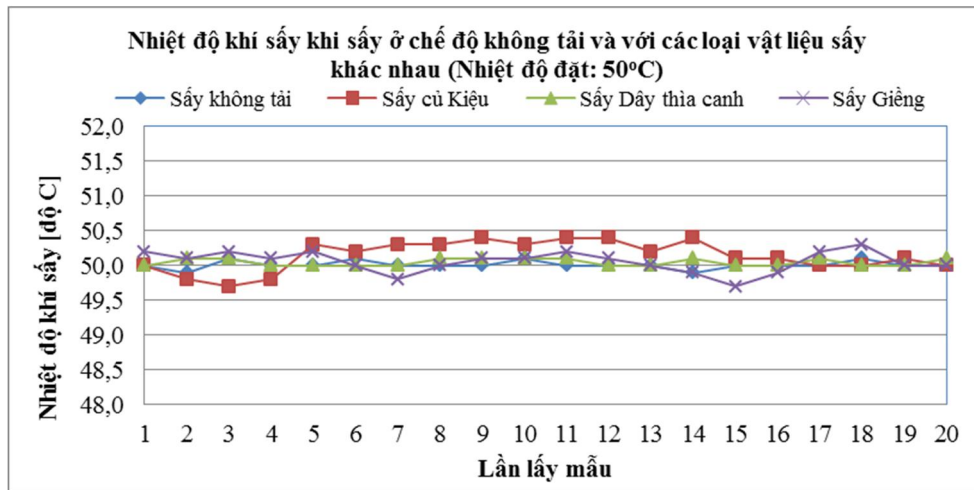
#### 4.2. Đánh giá độ ổn định nhiệt độ sấy

Với giá trị đặt (Setpoint = 50°C), sai số nhiệt độ điều khiển so với giá trị đặt được thống kê trên bảng 3.

**Bảng 3.** Kết quả kiểm tra độ ổn định nhiệt độ sấy

| Lần lấy mẫu | Nhiệt độ và độ chính xác của nhiệt độ khí sấy |                  |                  |                  |                        |                  |                |                  |
|-------------|---|------------------|------------------|------------------|------------------------|------------------|----------------|------------------|
|             | Không tải [°C]                                | Độ chính xác [%] | Sấy củ Kiệu [°C] | Độ chính xác [%] | Sấy dây thìa canh [°C] | Độ chính xác [%] | Sấy Giếng [°C] | Độ chính xác [%] |
| 1           | 50,0  | 100,0            | 50,0             | 100,0            | 50,0                   | 100,0            | 50,20          | 99,6             |
| 2           | 49,9  | 99,8             | 49,8             | 99,6             | 50,1                   | 99,8             | 50,10          | 99,8             |
| 3           | 50,1  | 99,8             | 49,7             | 99,4             | 50,1                   | 99,8             | 50,20          | 99,6             |
| 4           | 50,0  | 100,0            | 49,8             | 99,6             | 50,0                   | 100,0            | 50,10          | 99,8             |
| 5           | 50,0  | 100,0            | 50,3             | 99,4             | 50,0                   | 100,0            | 50,20          | 99,6             |
| 6           | 50,1  | 99,8             | 50,2             | 99,6             | 50,0                   | 100,0            | 50,00          | 100,0            |
| 7           | 50,0  | 100,0            | 50,3             | 99,4             | 50,0                   | 100,0            | 49,80          | 99,6             |
| 8           | 50,0  | 100,0            | 50,3             | 99,4             | 50,1                   | 99,8             | 50,00          | 100,0            |
| 9           | 50,0  | 100,0            | 50,4             | <b>99,2</b>      | 50,1                   | 99,8             | 50,10          | 99,8             |
| 10          | 50,1  | 99,8             | 50,3             | 99,4             | 50,1                   | 99,8             | 50,10          | 99,8             |
| 11          | 50,0  | 100,0            | 50,4             | <b>99,2</b>      | 50,1                   | 99,8             | 50,20          | 99,6             |
| 12          | 50,0  | 100,0            | 50,4             | <b>99,2</b>      | 50,0                   | 100,0            | 50,10          | 99,8             |
| 13          | 50,0  | 100,0            | 50,2             | 99,6             | 50,0                   | 100,0            | 50,00          | 100,0            |
| 14          | 49,9  | 99,8             | 50,4             | 99,2             | 50,1                   | 99,8             | 49,90          | 99,8             |
| 15          | 50,0  | 100,0            | 50,1             | 99,8             | 50,0                   | 100,0            | 49,70          | 99,4             |
| 16          | 50,0  | 100,0            | 50,1             | 99,8             | 50,0                   | 100,0            | 49,90          | 99,8             |
| 17          | 50,0  | 100,0            | 50,0             | 100,0            | 50,1                   | 99,8             | 50,20          | 99,6             |
| 18          | 50,1  | 99,8             | 50,0             | 100,0            | 50,0                   | 100,0            | 50,30          | 99,4             |
| 19          | 50,0  | 100,0            | 50,1             | 99,8             | 50,0                   | 100,0            | 50,00          | 100,0            |
| 20          | 50,0  | 100,0            | 50,0             | 100,0            | 50,1                   | 99,8             | 50,00          | 100,0            |

Các thử nghiệm được thực hiện với các điều kiện sấy khác nhau: Sấy không tải, sấy với tải là củ Kiệu tươi, sấy với tải là Dây thìa canh tươi, sấy với tải là Riêng tươi (đã thái lát). Kết quả đánh giá sự ổn định của nhiệt độ sấy được mô tả trên đồ thị ở hình 4.



Hình 4. Đánh giá độ ổn định của nhiệt độ sấy

Kết quả trên đồ thị chỉ ra rằng, dù thực hiện chế độ sấy với điều kiện tải khác nhau, tuy nhiên dường như nhiệt độ của khí sấy tương đối ổn định quanh vị trí đặt là  $T = 50^{\circ}\text{C}$ , với độ lệch nhỏ hơn  $0,5^{\circ}\text{C}$ . Kết quả đánh giá độ chính xác trong ổn định nhiệt độ sấy được tính toán và thống kê trong bảng 2. Kết quả tính toán chỉ ra rằng, độ chính xác của nhiệt độ khí sấy so với nhiệt độ đặt là rất cao, thấp nhất là 99,2%. Kết quả này đánh giá khả năng áp dụng của Máy này không những có thể sử dụng trong sản xuất nông nghiệp mà còn có thể áp dụng trong sản xuất công nghiệp với yêu cầu nghiêm ngặt về độ chính xác.

#### 4.3. Đánh giá ảnh hưởng của chế độ thoát ẩm đến kết quả quá trình sấy

Kết quả đánh giá sự ảnh hưởng của chế độ thoát ẩm đến kết quả sấy (sự thoát ẩm và thời gian đạt đến độ ẩm ổn định), được thống kê trong bảng 4 và được thể hiện ở biểu đồ (hình 5).

Bảng 4. Tổng hợp kết quả thoát ẩm với nhiều chế độ khác nhau

| Thời gian (Giờ) | Nhiệt độ không khí sấy [ $^{\circ}\text{C}$ ] |                                 |   |  | Độ ẩm không khí sấy [%] |                                 |   |  |
|-----------------|---|---------------------------------|---|--|-------------------------|---------------------------------|---|--|
|                 | Thoát ẩm tự nhiên                             | Thoát ẩm với tốc độ quạt tối đa | Thoát ẩm chủ động (Tốc độ quạt biến đổi từ 30% đến 100% ẩm) | Thoát ẩm chủ động (Tốc độ quạt biến đổi từ 15% đến 60% ẩm) | Thoát ẩm tự nhiên       | Thoát ẩm với tốc độ quạt tối đa | Thoát ẩm chủ động (Tốc độ quạt biến đổi từ 30% đến 100% ẩm) | Thoát ẩm chủ động (Tốc độ quạt biến đổi từ 15% đến 60% ẩm) |
| 0               | 28,5  | 28,5                            | 28,5  | 28,5   | 87,4                    | 87,4                            | 87,4  | 87,4   |
| 1               | 50,5  | 48,0                            | 50,0  | 49,8   | 60,0                    | 52,0                            | 53,0  | 50,0   |
| 2               | 50,3  | 49,5                            | 50,0  | 50,0   | 50,0                    | 39,0                            | 50,0  | 49,0   |
| 3               | 50,3  | 49,5                            | 50,3  | 50,3   | 44,0                    | 38,5                            | 39,0  | 47,0   |
| 4               | 50,4  | 50,2                            | 50,4  | 50,1   | 45,7                    | 38,1                            | 38,5  | 46,0   |
| 5               | 50,5  | 49,9                            | 50,1  | 50,1   | 46,1                    | 37,2                            | 38,0  | 44,0   |
| 6               | 50,6  | 50,2                            | 50,1  | 50,0   | 48,0                    | 36,9                            | 37,8  | 43,0   |
| 7               | 50,4  | 49,6                            | 50,4  | 50,2   | 45,0                    | 36,6                            | 36,7  | 41,9   |
| 8               | 50,2  | 49,8                            | 50,4  | 50,0   | 42,0                    | 36,0                            | 36,1  | 40,8   |
| 9               | 50,8  | 49,6                            | 50,2  | 50,3   | 41,0                    | 35,2                            | 35,0  | 39,8   |

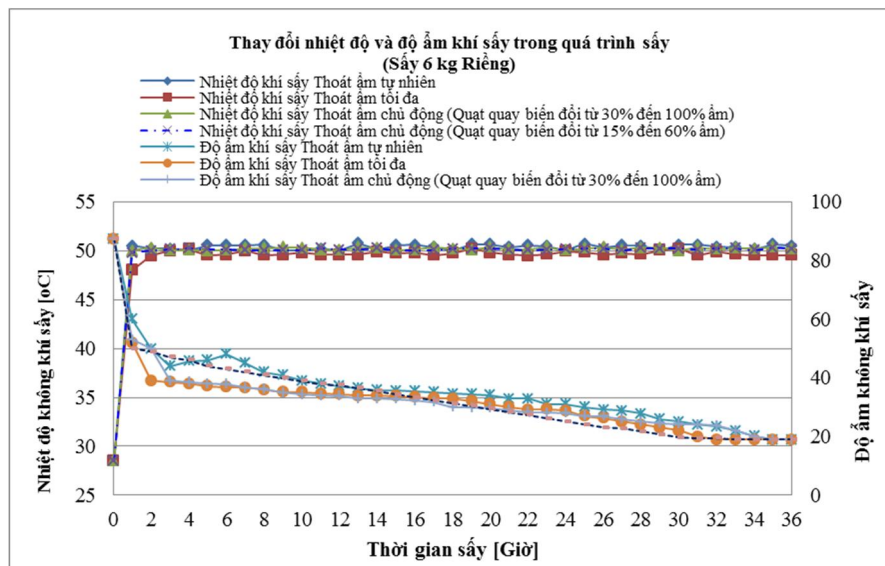
|    |      |      |      |      |      |      |      |      |
|----|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 10 | 50,5 | 49,7 | 50,2 | 50,2 | 39,0 | 35,1 | 34,3 | 38,8 |
| 11 | 50,5 | 50,1 | 50,2 | 50,2 | 38,1 | 34,7 | 34,0 | 37,9 |
| 12 | 50,7 | 49,9 | 50,0 | 50,2 | 37,1 | 34,5 | 33,7 | 37,5 |
| 13 | 50,3 | 50,1 | 50,0 | 50,2 | 36,5 | 34,0 | 33,0 | 36,4 |
| 14 | 50,7 | 49,6 | 50,2 | 50,0 | 35,8 | 34,0 | 32,9 | 35,4 |
| 15 | 50,7 | 50,1 | 50,2 | 50,2 | 35,7 | 33,8 | 32,7 | 34,4 |
| 16 | 50,7 | 50,1 | 50,1 | 50,2 | 35,5 | 33,5 | 32,2 | 33,4 |
| 17 | 50,3 | 50,1 | 50,1 | 50,1 | 35,1 | 33,1 | 31,7 | 32,4 |
| 18 | 50,6 | 50,1 | 50,4 | 50,2 | 34,6 | 33,0 | 30,0 | 31,4 |
| 19 | 50,4 | 49,7 | 50,3 | 50,2 | 34,5 | 32,1 | 29,8 | 30,3 |
| 20 | 50,8 | 49,8 | 50,2 | 50,1 | 34,1 | 31,0 | 29,6 | 29,4 |
| 21 | 50,2 | 49,8 | 50,0 | 50,3 | 33,0 | 30,0 | 29,0 | 28,4 |
| 22 | 50,2 | 49,8 | 50,1 | 50,1 | 32,9 | 29,2 | 28,3 | 27,3 |
| 23 | 50,6 | 49,9 | 50,4 | 50,1 | 31,0 | 29,3 | 28,1 | 26,3 |
| 24 | 50,4 | 49,9 | 50,0 | 50,1 | 31,1 | 28,9 | 28,0 | 25,3 |
| 25 | 50,5 | 50,0 | 50,0 | 50,2 | 30,0 | 27,0 | 27,0 | 24,0 |
| 26 | 50,1 | 49,9 | 50,2 | 50,1 | 29,2 | 26,2 | 27,0 | 23,0 |
| 27 | 50,7 | 50,0 | 50,3 | 50,1 | 28,9 | 25,0 | 26,0 | 22,7 |
| 28 | 50,0 | 50,0 | 50,0 | 50,2 | 27,8 | 24,0 | 25,0 | 21,6 |
| 29 | 50,8 | 49,7 | 50,3 | 50,2 | 26,0 | 23,1 | 24,5 | 20,6 |
| 30 | 50,7 | 49,8 | 50,3 | 50,2 | 25,1 | 22,0 | 24,3 | 19,6 |
| 31 | 50,8 | 50,0 | 50,2 | 50,2 | 24,1 | 20,0 | 24,0 | 19,3 |
| 32 | 50,3 | 49,9 | 50,1 | 50,1 | 23,3 | 19,0 | 23,7 | 19,5 |
| 33 | 50,2 | 49,9 | 50,1 | 50,1 | 22,0 | 19,0 | 22,0 | 19,0 |
| 34 | 50,6 | 49,8 | 50,1 | 50,2 | 20,1 | 19,0 | 20,0 | 19,0 |
| 35 | 50,5 | 49,5 | 50,3 | 50,0 | 19,0 | 19,0 | 19,0 | 19,0 |
| 36 | 50,5 | 50,1 | 50,4 | 50,0 | 19,0 | 19,0 | 19,0 | 19,0 |

Kết quả từ biểu đồ hình 5 chỉ ra rằng, trong điều kiện thoát ẩm chủ động (tốc độ quạt thoát ẩm biến đổi khi độ ẩm của không khí sấy thay đổi từ 15% đến 60%), cho hiệu quả sấy tốt nhất:

- Nhiệt độ không khí sấy ổn định nhất.
- Đường giảm độ ẩm trơn nhất (quá trình giảm độ ẩm tương đối đồng đều).
- Thời gian sấy để đạt độ ẩm không thay đổi là tương đối ngắn (gần bằng so với khi sấy quạt hút ẩm chạy với công suất tối đa).
- Tiết kiệm được năng lượng nhất: Vì công suất của quạt được điều khiển để hạn chế tối qua quá trình thất thoát nhiệt qua hệ thống thoát ẩm.

Như vậy: Trong các chế độ thoát ẩm được nghiên cứu, chế độ thoát ẩm với điều kiện thoát ẩm chủ động (tốc độ của quạt thoát ẩm biến đổi khi độ ẩm của không khí sấy thay đổi từ 15% đến 60%), cho hiệu quả sấy tốt nhất.





Hình 5. Biểu đồ thay đổi nhiệt độ và độ ẩm của khí sấy trong quá trình sấy

## 5. KẾT LUẬN

Nghiên cứu đã rút ra được các kết luận như sau:

- Để giảm thời gian gia nhiệt cần tăng công suất cấp nhiệt, tăng cường gia cố hệ thống cách nhiệt và ứng dụng chế độ thoát ẩm chủ động khi gia nhiệt. Thời gian gia nhiệt trung bình của máy sấy khi hoàn thiện (Công suất bóng hồng ngoại 1050 W, cách nhiệt bằng gỗ công nghiệp và lớp bóng bạc cách nhiệt, thoát ẩm chủ động) khoảng 12 phút.

- Nhiệt độ của tác nhân sấy đạt mức ổn định cao quanh vị trí nhiệt độ đặt (50°C), độ lệch của nhiệt độ tác nhân sấy so với nhiệt độ đặt nhỏ hơn 0,5°C. Máy sấy có thể áp dụng với yêu cầu ổn định cao về nhiệt độ sấy.

- Trong các chế độ thoát ẩm được nghiên cứu, chế độ thoát ẩm với điều kiện thoát ẩm chủ động (tốc độ quạt thoát ẩm biến đổi khi độ ẩm của không khí sấy thay đổi từ 15% đến 60%), cho hiệu quả sấy tốt nhất.

## LỜI CẢM ƠN

Nhóm tác giả cảm ơn sự hỗ trợ của Trường Đại học Hùng Vương, Phú Thọ, Trường Đại học Công nghiệp Hà Nội và sự hỗ trợ từ đề tài nghiên cứu cấp nhà nước: “Nghiên cứu phát triển cây Địa hoàng (*Rehmannia glutinosa*) theo hướng dẫn GACP-WHO trên địa bàn tỉnh Phú Thọ và một số tỉnh lân cận”.

## TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Waewsak, J.; Chindaruksa, S.; and Punlek, C. (2006). A mathematical modeling study of hot air drying for some agricultural products. *Thammasat Int. J. Sci. Technol.* 11(1): 14-20.
- [2]. (Akinola, A.O. (1999). Development and Performance Evaluation of a Mixed-Mode Solar Food Dryer. M. Eng. Thesis, Federal University of Technology, Akure, Nigeria.
- [3]. Akinola, A.O.; and Fapetu, O.P. (2006). Energetic Analysis of a Mixed-Mode Solar Dryer. *J. Engin. Appl. Sci.* 1: 205-10.

- [4]. (Kurtbas, I.; and Turgut, E. (2006). Experimental investigation of solar air heater with free and fixed fins: efficiency and energy loss. *Int. J. Sci. Technol.* 1(1): 75-82.
- [5]. (Ertekin, C.; and Yaldiz, O. (2004). Drying of eggplant and selection of a suitable thin layer drying model, *J. Food Engin.* 63: 349-59.).
- [6]. Madhlopa, A.; Jones, S.A.; and Kalenga-Saka, J.D. (2002). A solar air heater with composite absorber systems for food dehydration. *Renewable Energy* 27: 27–37.
- [7]. Phạm Xuân Vương (2006), Giáo trình kỹ thuật sấy nông nghiệp. NXB Khoa học kỹ thuật Hà Nội.
- [8]. Nguyễn Văn May (2007), Giáo trình kỹ thuật sấy nông sản thực phẩm, NXB Khoa học kỹ thuật Hà Nội.
- [9]. Basse, M.W. (1989), Development and use of solar drying technologies, *Nigerian Journal of Solar Energy* 89: 133-64.
- [10]. Rossello, C., Berna, A., and Mulet, A. (1990), Solar Drying of Fruits in a Mediterranean Climate, *Drying Technology*, 8 (2), pp: 305 - 321.
- [11]. Schirmer, P., Janjai, S., Es per, A., Smitabhindu, R., and Mühlbauer, W. (1996), Experimental Investigation of the Performance of the Solar Tunnel Dryer for Drying Bananas, *Renewable Energy*, Vol. 7, No. 2, pp: 119 - 129.
- [12]. Narinesingh, D., and Mohammed- Maraj, R. (1988), Solar Drying Characteristics of Papaya (*Carica papaya*) Latex, *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 46, pp: 175-186.