

THIẾT KẾ, CHẾ TẠO HỆ THỐNG PHÂN PHỐI KHÍ SẤY TRONG THIẾT BỊ SẤY NÔNG SẢN DẠNG HẠT

Design and manufacture hot air supplying system in grain drying system

Nguyễn Văn Đạt

Khoa Cơ Điện, Trường Đại học Nông nghiệp Hà Nội

SUMMARY

A modified static drying system applied for drying grain was designed in which the hot air supplying system with multiple tubes was vertically installed along the drying container's length. Similarly, the venting system was designed in parallel with the hot air supplying system. The drying system was tested at different air flow speeds: 3m/s, 2.5 m/s, 2m/s, 1.5m/s. The results showed that the inequality in grain moisture after drying, which is usually caused by the conventional static drying system, was considerably reduced. However, more appropriate results were found at the air flow speed of 2m/s due to a higher power efficiency.

Key word: Air supplying system, drying system, grain.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Trong quá trình chế biến và bảo quản nông sản sau thu hoạch, công nghệ sấy có vai trò rất quan trọng và là một mắt xích quan trọng của một nền nông nghiệp hiện đại, giữ vai trò lớn trong việc nâng cao chất lượng sản phẩm và giảm chi phí trong bảo quản và chế biến nông sản để tăng tính cạnh tranh của nông sản trên thị trường trong nước cũng như trên thị trường nước ngoài. Đối với nông sản dạng hạt, phương pháp sấy được sử dụng rộng rãi nhất là sấy đối lưu, trong đó các thiết bị sấy tĩnh có ưu điểm là đơn giản, vốn đầu tư thấp và phù hợp với các loại nông sản như ngô, đậu tương, ... trong điều kiện sản xuất nhỏ ở nước ta nên được sử dụng nhiều hơn các thiết bị sấy động (Phạm Xuân Vượng, 2006). Kết quả nghiên cứu của Nguyễn Văn Hoà (2002) cho thấy nhược điểm của các thiết bị loại này là độ đồng đều của sản phẩm không cao. Mục tiêu của nghiên cứu này là xây dựng một hệ thống phân phối tác nhân sấy nhằm đảm bảo tăng chất lượng và sự đồng đều của sản phẩm sấy và có chi phí năng lượng thấp.

2. VẬT LIỆU VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

Sấy là một quá trình phức tạp bao gồm quá trình truyền nhiệt và quá trình truyền ẩm. Việc

xác định trường chứa ẩm và trường nhiệt độ trong lòng vật sấy là hết sức phức tạp. Nó đòi hỏi phải giải hệ phương trình vi phân của các quá trình truyền nhiệt và truyền chất với các điều kiện cụ thể và với chế độ sấy cụ thể. Vì vậy, nghiên cứu này sử dụng phương pháp nghiên cứu thực nghiệm trên cơ sở lý thuyết sấy và kỹ thuật điều khiển tự động. Mục đích nghiên cứu nhằm nâng cao chất lượng sấy nông sản trên cơ sở những kết quả nghiên cứu các hệ thống sấy và nhu cầu về thiết bị sấy nông sản dạng hạt của hộ nông dân, với đối tượng nghiên cứu được chọn là loại thiết bị sấy tĩnh theo phương pháp sấy đối lưu.

Phương pháp sấy

Trong các phương pháp sấy trên, phương pháp sấy đối lưu được sử dụng rộng rãi để sấy nông sản vì nó tương đối phù hợp hơn với tính chất đa dạng của các loại nông sản: dạng hạt rời, dạng hạt lớp toí, dạng cây lá (Phạm Xuân Vượng, 2006).

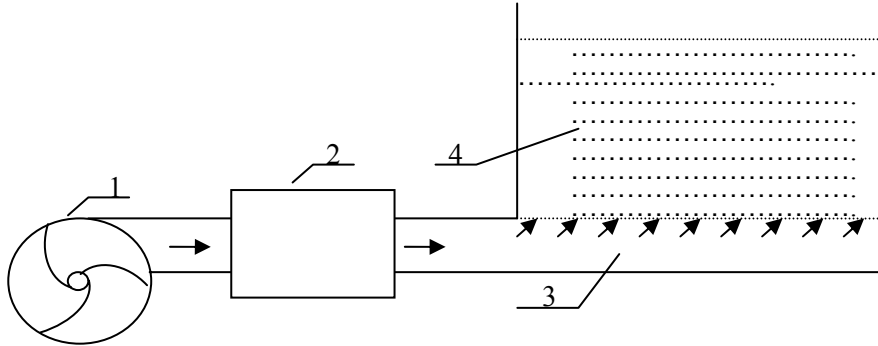
Tác nhân sấy trong phương pháp đối lưu thường là không khí nóng. Nhiệt được truyền từ tác nhân sấy sang vật sấy bằng cách đối lưu. Năng lượng nhiệt truyền nhờ cách đối lưu sẽ làm nóng vật sấy, làm nước hoá hơi thoát ra bề mặt vật sấy và làm bốc hơi nước từ bề mặt vật ra ngoài. Hơi ẩm sẽ được dòng khí thải đưa ra ngoài.

Thiết bị sấy

Sấy đối lưu được chia làm hai nhóm phụ thuộc vào trạng thái của vật liệu sấy là sấy động (vật liệu sấy chuyển động ngược chiều với dòng

khí sấy) và sấy tĩnh (vật liệu sấy ở trạng thái tĩnh còn dòng khí sấy chuyển động qua khối hạt).

Thiết bị sấy tĩnh được chia thành hai loại: sấy hầm và sấy cột (Nguyễn Văn Hoà, 2002). Cấu trúc của thiết bị sấy hầm mô tả trong hình 1.



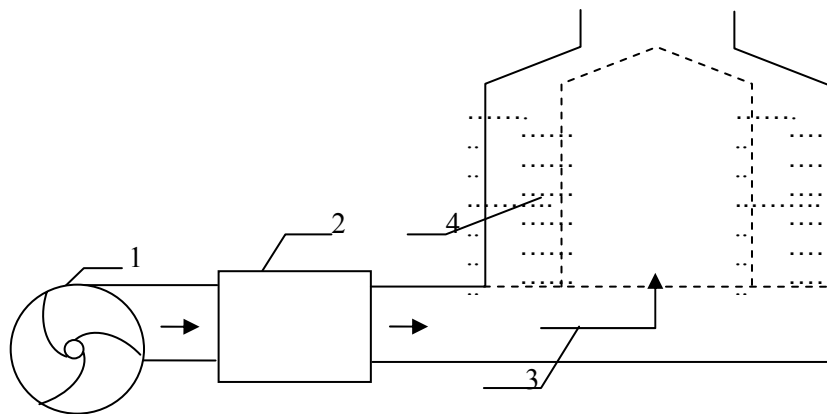
Hình 1. Mô hình thiết bị sấy hầm

1. Quạt; 2. Buồng nung; 3. Kênh dẫn khí; 4. Lớp vật liệu

Tác nhân sấy sử dụng trong sấy hầm là không khí. Dòng khí được quạt 1 thổi qua buồng nung 2 vào kênh dẫn khí 3. Từ kênh dẫn khí, khí nóng đi qua lớp vật liệu 4 và ra ngoài. Trong quá trình đó, khí nóng truyền nhiệt lượng nó mang theo cho vật liệu sấy, làm cho hơi nước từ liệu bốc hơi ra ngoài vật sấy và được dòng khí cuốn theo ra ngoài. Lớp liệu dưới cùng được tiếp xúc với dòng khí sấy có nhiệt độ cao và độ ẩm thấp nên được gia nhiệt nhanh và quá trình thoát hơi ẩm khối vật cũng nhanh. Nhiệt độ của khí sấy giảm dần còn độ ẩm tăng lên. Các lớp liệu phía sau có tốc độ gia nhiệt giảm dần và quá trình thoát hơi ẩm cũng giảm đi. Như vậy độ ẩm của khối hạt sấy sẽ không đồng đều. Chiều dày của lớp liệu sấy càng tăng thì sự không đồng đều càng tăng.

Ưu điểm của thiết bị sấy hầm là có cấu trúc đơn giản, sử dụng các vật liệu thông dụng, vốn đầu tư ban đầu thấp.

Hình 2 mô tả cấu trúc thiết bị sấy trụ. Buồng sấy có dạng hình trụ được tạo bằng hai tấm vách lưới có khoan lỗ nhỏ. Phần rỗng ở trong lòng hình trụ là buồng tích khí có áp suất cao, quá trình sấy xảy ra đồng đều theo chiều cao cột liệu nhưng theo bán kính thì lớp trong sẽ nhanh hơn lớp ngoài. So với sấy hầm, sấy cột có ưu điểm là độ dày lớp liệu theo phương chuyển động của tác nhân sấy nhỏ hơn, độ đồng đều cao hơn song cấu trúc phức tạp hơn, khối lượng vật liệu sấy ít hơn nhiều khi có cùng kích thước ngoài như thiết bị sấy hầm.



Hình 2. Mô hình thiết bị sấy trụ

1. Quạt; 2. Buồng nung; 3. Kênh dẫn khí; 4. Lớp vật liệu

Như vậy vấn đề chính đối với các thiết bị sấy đối lưu tĩnh là cần tăng cường độ đồng đều của vật liệu sấy đồng thời đảm bảo năng suất mà không phải tăng kích thước thiết bị sấy. Đây cũng chính là mục tiêu cần đạt được của đề tài.

3. KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU

3.1. Thiết kế hệ thống phân phối khí sấy

Nghiên cứu đề xuất kết cấu buồng sấy của hệ thống sấy tĩnh (Hình 3) nhằm khắc phục các nhược điểm về độ không đồng đều, về năng suất của thiết bị sấy tĩnh dạng hầm và dạng trụ đồng thời phát huy các ưu điểm của sấy tĩnh là thiết bị nhỏ gọn, phù hợp với nhu cầu của hộ nông dân. Trong kết cấu này, tác nhân sấy không đi từ dưới dưới đáy thiết bị qua lớp vật liệu sấy lên trên như trong thiết bị sấy hầm truyền thống, do đó chiều cao của lớp vật liệu sấy không ảnh hưởng đáng kể đến độ đồng đều của vật liệu sấy. Không khí nóng được thổi theo chiều ngang qua lớp vật liệu sấy tương tự như trong thiết bị sấy trụ, song không phải là đi từ trong tâm trụ thoát ra môi trường qua lớp vật liệu sấy, mà đi từ các ống dẫn khí nóng qua lớp vật liệu sấy tới ống thoát khí. Các ống dẫn khí và thoát khí được bố trí trong lòng thùng sấy theo hướng tập trung nhiệt vào trong lòng thùng sấy. Vỏ thùng sấy được cách nhiệt với môi trường.

Buồng đốt có dạng một ống thẳng có tiết diện vuông bên trong đặt phần tử nhiệt. Vỏ buồng đốt và buồng chứa đều được cách nhiệt

với môi trường, một đầu buồng đốt nối với quạt gió còn đầu kia đưa không khí nóng vào thẳng buồng chứa.

Kết cấu trên cho phép hạn chế sự thoát nhiệt của vật liệu sấy ra môi trường so với thiết bị sấy trụ. Độ dày lớp liệu có thể tính toán để đạt độ đồng đều cao hơn. Mặt khác với cùng kích thước dung tích thùng sấy tăng rất nhiều so với thiết bị sấy trụ, tương đương thiết bị sấy hầm.

Do chiều cao lớp liệu không có ảnh hưởng đáng kể đến độ đồng đều của vật liệu sấy nên chiều cao của thùng sấy chỉ bị hạn chế bởi các lý do cơ học và tính năng sử dụng.

Kết quả tính toán cho thấy tổng diện tích mặt thoáng dẫn khí và mặt thoáng thoát khí tương đối lớn so với thiết bị sấy hầm và sấy trụ cùng kích thước, điều này cho phép giảm đáng kể công suất quạt gió, thậm chí tăng khả năng đối lưu tự nhiên đến mức rất cao.

Không khí được đốt nóng trong buồng đốt và được quạt gió thổi vào buồng chứa trước khi vào buồng sấy. Ngăn chứa có thể coi như một bình tích áp, vì thế áp suất trong nó và trong các đường ống dẫn có thể coi là như nhau. Áp suất lớn sẽ đẩy không khí nóng vào buồng sấy theo chiều cao của cột dẫn. Buồng sấy có đường kính ngoài 100 cm, chiều cao 132 cm. Bên trong vỏ buồng sấy được lót một lớp cách nhiệt dày 1cm. Dung tích chứa của buồng sấy là 0,95 m³. Năng suất chứa tối đa của buồng là 800 kg ngô hạt.

Hình 3. Sơ đồ hệ thống phân phối khí sấy

Hình 4. Sơ đồ hệ thống sấy

Với nhiệt độ trung bình của môi trường là 25°C, độ ẩm trung bình của không khí 80 ÷ 85% để tránh hiện tượng ngưng hơi ở lớp cuối của vật liệu sấy nhiệt độ không khí ra được xác định lớn hơn nhiệt độ môi trường khoảng 10°C. Với ngô hạt nhiệt độ sấy nằm trong khoảng 30 ÷ 50°C nên nhiệt độ không khí đưa vào buồng sấy được chọn là 45°C nhiệt độ sau buồng sấy của không khí ở mức 30 ÷ 35°C.

3.2. Tính toán các thông số

Các thông số của hệ thống được tính toán như sau (Trần Văn Phú, 2000; Phạm Xuân Vương, 2006):

Entanpi không khí trước buồng đốt là:

$$I_o = 1,004.25 + 0,017.(2500 + 1,842.25) = 68,383 \text{ kJ/kg kk.}$$

Áp suất hơi bão hoà ở 25°C là:

$$P_{bho} = \exp\left\{12,000 - \frac{4026,42}{235,500 + 25}\right\} = 0,0315 \text{ bar}$$

Lượng chứa ẩm của không khí trước buồng đốt là:

$$d_{2o} = \frac{I_o - 1,004t_o}{2500 + 1,842t_o} = \frac{68,383 - 1,004.25}{2500 + 1,842.25} = 0,017 \text{ kg ẩm/ kg kk.}$$

Áp suất hơi bão hoà ở 45°C là:

$$P_{bh1} = p\left\{12,000 - \frac{4026,42}{235,500 + 45}\right\} = 0,095 \text{ bar}$$

Entanpi không khí trước khi vào buồng sấy ($d_1 = d_o$) là:

$$I_1 = 1,004.45 + 0,017(2500 + 1,842.45) = 89 \text{ kJ/kg kk.}$$

Áp suất hơi bão hoà ở 45°C là:

$$P_{bh1} = p\left\{12,000 - \frac{4026,42}{235,500 + 45}\right\} = 0,095 \text{ bar}$$

Độ ẩm tương đối :

$$\varphi_1 = \frac{d_o B}{P_{bh}(0,621 + d_o)} = \frac{0,017(745/750)}{0,095(0,621 + 0,017)} = 27,9\%$$

Cho rằng $I_2 = I_1 = 89 \text{ kJ/kg kk.} = h_s$. Nếu chọn nhiệt độ không khí khi ra khỏi buồng sấy là 30 °C thì lượng chứa ẩm lý thuyết sau buồng sấy của không khí được tính:

$$d_{2o} = \frac{I_2 - 1,004t_2}{2500 + 1,842t_2} = \frac{89 - 1,004.30}{2500 + 1,842.30} = 0,023 \text{ kg ẩm/ kg kk.}$$

Áp suất hơi bão hoà tương ứng với t_2 là:

$$P_{bh} = p\left\{12,000 - \frac{4026,420}{235,5 + 30}\right\} = 0,042 \text{ bar}$$

Độ ẩm tương đối của không khí sau sấy lý thuyết là:

$$\varphi_{2o} = \frac{d_{2o}(745/750)}{P_{bh2}(0,621 + d_{2o})} = \frac{0,023(745/750)}{0,042(0,621 + 0,023)} = 84,5\%$$

Lượng chứa ẩm tác nhân sấy nhận từ vật liệu sấy là:

$$G_{Bco} = d_{2o} - d_1 = 0,023 - 0,017 = 0,006 \text{ kg ẩm/ kg kk.}$$

Lượng không khí cần thiết cho 1 kg nước bốc hơi là:

$$l = \frac{1}{0,023 - 0,017} = 166,7 \text{ kg kk/ kg ẩm}$$

Lượng ẩm bốc hơi bằng khối lượng ngô trước sấy trừ đi khối lượng ngô sau sấy:

$$W = (880 - 875)0,9 = 4,5 \text{ kg}$$

Lượng không khí cần thiết:

$$L = l.W = 166,7 \times 4,5 = 750,15 \text{ m}^3$$

Thể tích không khí cần thiết là:

$$V = L / \rho = 750,15 / 1,185 = 633 \text{ m}^3$$

Thời gian sấy lý thuyết tính theo công thức (2 - 5):

$$\tau = \exp\left\{\frac{1}{n}\left(\ln\left[-\frac{1}{k}\ln\frac{\omega_2 - \omega_{cb}}{\omega_0 - \omega_{cb}}\right]\right)\right\},$$

Với hạt nông sản: $k = 0,126 + 0,00517 \times 45 = 0,359$

$$n = 0,54 + 0,00324\left(\frac{17}{23}\right) = 0,542$$

$$\tau = \exp\left\{\frac{1}{0,542}\left(\ln\left[-\left(\frac{1}{0,359}\right)\ln\frac{17-14}{23-14}\right]\right)\right\} = 7,84 \text{ h}$$

Tốc độ sấy cưỡng bức trung bình được sơ bộ chọn là 2m/s.

Trở lực đối với dòng khí qua lớp hạt với độ ẩm 23% (Hoàng Văn Chương, 1999) là:

$$\Delta P_s = k_1 V_0 + k_2 V_0^2$$

Trong đó $k_1 = 1,037$, $k_2 = 0,0738$.

Với lớp hạt dày 0,25m, $V_0 = 200 \text{ cm/s}$ có:

$$\Delta P_s = 0,1 \cdot 0,25(1,037 \cdot 200 + 0,738 \cdot 200^2) = 743,185 \text{ N/m}^2$$

Tổn thất do trở lực cục bộ lấy bằng 5% tổng tổn thất thì có:

$$\Delta P = 1,05 \times 743,185 = 780 \text{ N/m}^2$$

Công suất của quạt:

$$N = \frac{kV\rho_o\Delta P}{3600.102.\rho\eta} = \frac{1,5.633.1,293.780}{3600.7,84.102.1,185.0,5} = 0,56 \text{ kW}$$

Chọn quạt ly tâm có động cơ điện với công suất 0,75 kW, số vòng quay 1450 v/ph.

Nhiệt lượng tiêu hao cho quá trình sấy là:

$$Q = V(I_1 - I_0) = 633(89 - 68,383) = 13050 \text{ kJ}$$

Kết quả khảo nghiệm cho thấy muốn đạt nhiệt độ không khí đưa vào buồng sấy 45°C nhiệt độ sau buồng đốt của không khí phải ở mức 55 ÷ 60°C.

Áp suất hơi bão hoà ở 60°C là:

$$P'_{bh} = p \left\{ 12,000 - \frac{4026,42}{235,500 + 60} \right\} = 0,196 \text{ bar}$$

Độ ẩm tương đối :

$$\varphi_1 = \frac{d_o B}{P_{bh}(0,621 + d_o)} = \frac{0,017(745/750)}{0,196(0,621 + 0,017)} = 13,5\%$$

Entanpi không khí sau buồng đốt là:

$$I_1' = 1,004.60 + 0,017(2500 + 1,842.60) = 104,62 \text{ kJ/kg kk.}$$

Nhiệt lượng calorifer cung cấp là:

$$Q' = V(I_1' - I_0) = 633(104,62 - 68,383) = 22938 \text{ kJ} = 6,37 \text{ kW}$$

Chọn phần tử nhiệt có công suất 2,1 kW.

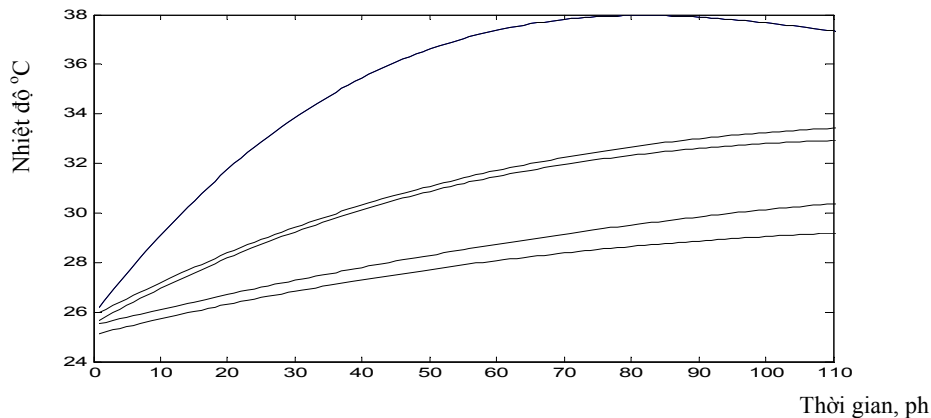
3.3. Khảo sát xác định quy trình sấy

Trong quá trình sấy khảo sát chế độ làm việc của thiết bị, độ ẩm hạt được kiểm tra bằng thiết bị đo độ ẩm PM – 400, thiết bị dùng để đo độ ẩm không khí môi trường và để chuẩn hoá tín hiệu điều khiển là loại PSYCHRO – DYNE – 22010 – 22012 – 22014. Nhiệt độ được đo bằng cảm biến TCM và bằng nhiệt kế.

Các đầu đo nhiệt độ được bố trí tại buồng sấy và ở bốn vị trí cách đều theo chiều cao của buồng sấy.

Các thông số như tốc độ gió, nhiệt độ sấy được thay đổi để xác định giá trị phù hợp nhất.

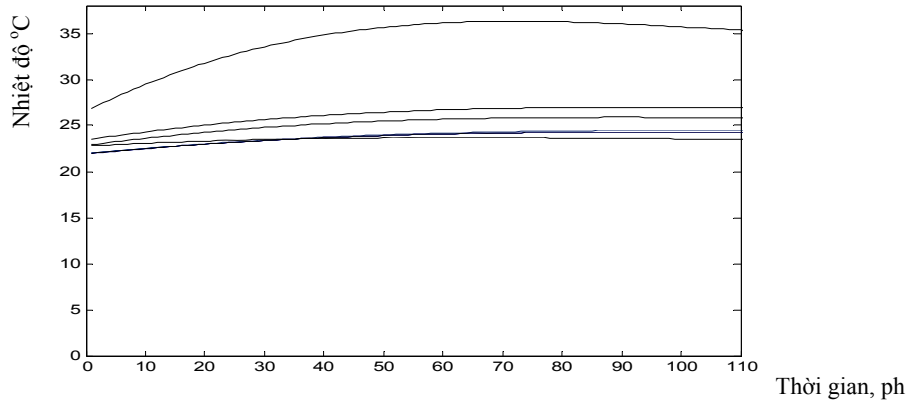
Kết quả thực nghiệm thu được với tốc độ gió 3 m/s (Hình 5). Nhiệt độ môi trường từ 25 – 27°C. Độ ẩm không khí 80 – 85%. Độ ẩm hạt trước sấy 18%. Trong hình 5, các đồ thị 1, 2, 3 biểu diễn nhiệt độ các lớp vật liệu được khảo sát theo chiều từ dưới lên. Đồ thị 4 là nhiệt độ không khí thoát ra sau buồng sấy. Đồ thị 5 là nhiệt độ không khí sấy. Độ ẩm hạt sau sấy 14,2%.



Hình 5. Kết quả thực nghiệm với tốc độ gió 3m/s

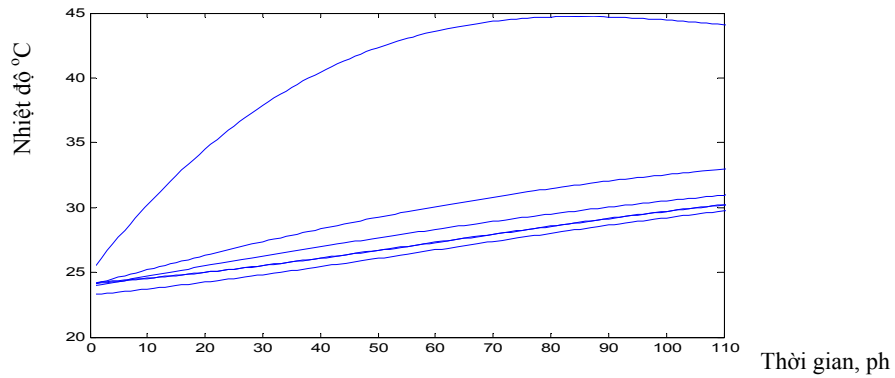
Kết quả thực nghiệm với tốc độ gió 2, 5 m/s (Hình 6). Nhiệt độ môi trường từ 22 – 23°C. Độ ẩm không khí 60 – 65%. Độ ẩm hạt trước sấy 23,8%. Trong hình 6, các đồ thị 1, 2, 3, 4 biểu

diễn nhiệt độ các lớp vật liệu được khảo sát theo chiều từ dưới lên. Đồ thị 5 là nhiệt độ không khí thoát ra sau buồng sấy. Đồ thị 6 là nhiệt độ không khí sấy. Độ ẩm hạt sau sấy 19,2%.



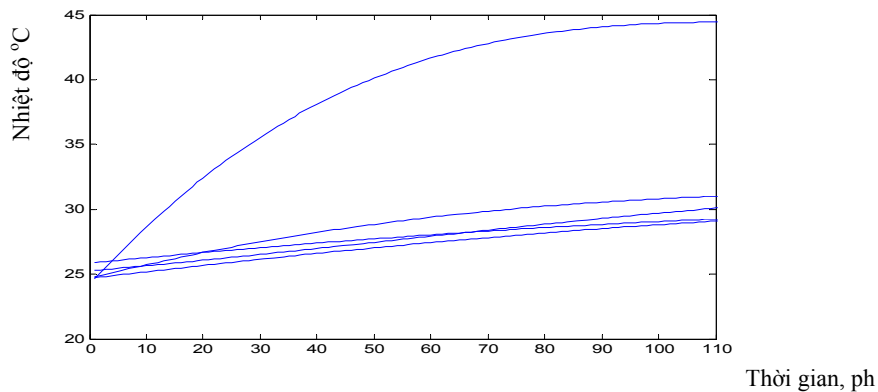
Hình 6. Kết quả thực nghiệm với tốc độ gió 2,5m/s

Kết quả thực nghiệm với tốc độ gió 2 m/s (Hình 7). Nhiệt độ môi trường từ 25 °C. Độ ẩm không khí 82 %. Độ ẩm hạt trước sấy 21%. Trong hình 6, các đồ thị 1, 2, 3 biểu diễn nhiệt độ các lớp vật liệu được khảo sát theo chiều từ dưới lên. Đồ thị 4 là nhiệt độ không khí thoát ra sau buồng sấy. Đồ thị 5 là nhiệt độ không khí sấy. Độ ẩm hạt sau sấy 15,3%.



Hình 7. Kết quả thực nghiệm với tốc độ gió 2 m/s

Kết quả thực nghiệm với tốc độ gió 1,5 m/s (Hình 8). Nhiệt độ môi trường từ 25 - 27°C. Độ ẩm không khí 80 - 85%. Độ ẩm hạt trước sấy 23,4%. Trong hình 8, các đồ thị 1, 2, 3 biểu diễn nhiệt độ các lớp vật liệu được khảo sát theo chiều từ dưới lên. Đồ thị 4 là nhiệt độ không khí thoát ra sau buồng sấy. Đồ thị 5 là nhiệt độ không khí sấy. Độ ẩm hạt sau sấy 16,4 %.



Hình 8. Kết quả thực nghiệm với tốc độ gió 1,5 m/s

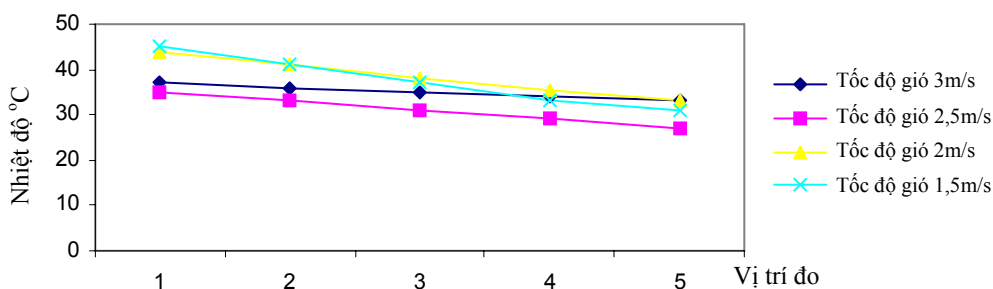
Có thể nhận thấy rằng với tốc độ gió 3 m/s thì nhiệt độ không khí ra chỉ thấp hơn nhiệt độ không khí trước sấy khoảng 3 đến 5°C. Lượng nhiệt thất thoát do tác nhân sấy mang ra ngoài lớn, thời gian sấy bị kéo dài. Nhược điểm này giảm dần khi giảm tốc độ gió.

Với tốc độ gió 2m/s nhiệt độ không khí ra khỏi buồng sấy thấp hơn nhiệt độ không khí vào khoảng 10°C, đáp ứng được yêu cầu đặt ra khi tính toán.

Với tốc độ gió 1,5m/s nhiệt độ không khí ra khỏi buồng sấy thấp hơn nhiệt độ không khí vào khoảng 15°C, nhiệt độ vật liệu sấy không đều

theo phương của gió nóng, có thể gây ra hiện tượng đọng sương, không đáp ứng được yêu cầu đặt ra khi tính toán. Nhiệt độ giữa các lớp không đều.

Kết quả khảo sát còn cho thấy rằng nhiệt độ trong buồng sấy tương đối đều dọc theo chiều cao của buồng sấy. Khảo sát nhiệt độ không khí trước và sau buồng sấy ta thấy nhiệt độ đo ở ống dẫn cho thấy bằng với nhiệt độ không khí trong buồng chứa. Nhiệt độ không khí ra khỏi buồng sấy thấp hơn nhiệt độ không khí vào khoảng 10°C, chênh lệch này phù hợp với yêu cầu đặt ra.

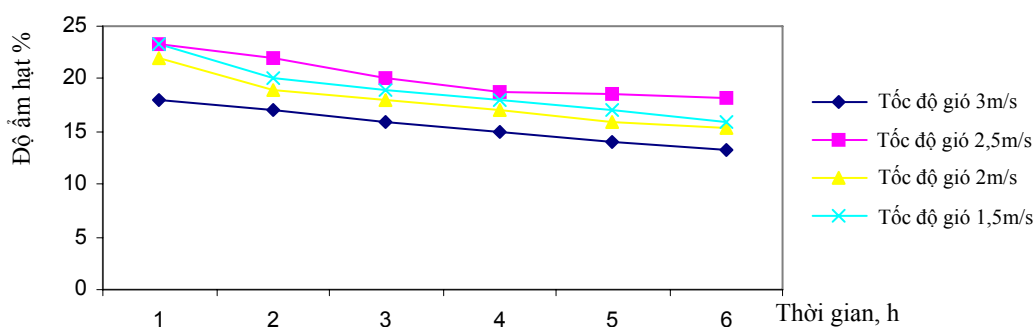


Hình 9. Kết quả đo theo dọc đường chuyển động của dòng khí

Trong một hướng khảo sát khác kết quả đo theo dọc đường chuyển động của dòng khí cho thấy nhiệt độ không khí giảm dần tương đối đều (Hình 9). Điều này cho thấy sự hấp thụ nhiệt của vật liệu sấy cũng tương đối đều theo tiết diện ngang của buồng sấy. Kết quả trình bày trên hình 9 cho thấy rằng tốc độ tác nhân

sấy 2 m/s (đồ thị 3) là phù hợp nhất, ứng với tốc độ ấy thiết bị sấy cho sản phẩm sấy tương đối đồng đều và đảm bảo tiết kiệm nhiệt.

Khảo sát sự thay đổi của độ ẩm theo thời gian ta cũng thấy tốc độ gió 2m/s cho kết quả tốt nhất (Đồ thị 3, 4; Hình 10).



Hình 10. Khảo sát sự thay đổi của độ ẩm theo thời gian

4. KẾT LUẬN

Kết quả khảo sát cho thấy so với các kết cấu trên hình 1 và trên hình 2 thì hệ thống được thiết kế, chế tạo theo mô hình trên hình 3 có năng suất lớn hơn thiết bị sấy trụ và tương đương thiết bị sấy hầm có cùng kích thước.

Độ đồng đều sản phẩm sấy theo chiều dẹt và theo tiết diện ngang đều được nâng cao và đảm bảo yêu cầu.

Chiều dày lớp vật liệu theo phương chuyển động của tác nhân sấy nhỏ nên công suất quạt gió yêu cầu nhỏ, thời gian sấy được rút ngắn tiết kiệm năng lượng.

Như vậy có thể thấy rằng hệ thống phân phối khí sấy được chế tạo đã đáp ứng được các yêu cầu đặt ra và có khả năng ứng dụng trong thực tế.

5. TÀI LIỆU THAM KHẢO

- Hoàng Văn Chúc (1999). *Kỹ thuật sấy*, NXB KHKT.
- Nguyễn Văn Hoà (2002). *Điều khiển tối ưu hệ thống sấy nông sản*. Đề tài nghiên cứu khoa học cấp, ĐHBKHN.
- Trần Văn Phú (2000). *Tính toán và thiết kế hệ thống sấy*, NXB Giáo dục, Hà Nội.
- Phạm Xuân Vượng (2006). *Kỹ thuật sấy*, NXB Khoa học kỹ thuật, Hà Nội.