



# CÔNG NGHIỆP NÔNG THÔN

JOURNAL OF RURAL INDUSTRY

ISSN 1859 - 4026

HỘI CƠ KHÍ NÔNG NGHIỆP VIỆT NAM

Vietnamese Society of Agricultural Engineering (VSAGE)



VIỆN CƠ ĐIỆN NÔNG NGHIỆP VÀ CÔNG NGHỆ SAU THU HOẠCH  
CÔNG TY CỔ PHẦN CƠ ĐIỆN VÀ XÂY DỰNG VIỆT NAM  
VIỆN NGHIÊN CỨU THIẾT KẾ CHẾ TẠO MÁY NÔNG NGHIỆP

Số 29  
2018

## NGHIÊN CỨU CÔNG NGHỆ SẤY HAI GIAI ĐOẠN KẾT HỢP SẤY TẦNG SÔI VÀ SẤY THÁP ĐỂ SẤY CÀ PHÊ NHÂN

ThS. Trần Văn Tuấn <sup>(1)</sup>, ThS. Lê Quang Vinh <sup>(1)</sup>, PGS.TS. Lê Anh Đức

### TÓM TẮT

Mục đích nghiên cứu nhằm đánh giá hiệu quả sấy cà phê nhân bằng kỹ thuật sấy hai giai đoạn, kết hợp giữa sấy tầng sôi và sấy tháp. Nghiên cứu đã tính toán, thiết kế và chế tạo một mô hình hệ thống sấy hai giai đoạn cho sấy cà phê nhân, gồm một máy sấy tầng sôi 70 kg/h kết hợp với máy sấy tháp 70 kg/mẻ. Kết quả thực nghiệm đã xác định được các thông số chính của chế độ sấy thích hợp, hiệu quả, cụ thể như sau: Vận tốc gió bề mặt và nhiệt độ tác nhân sấy ở máy sấy tầng sôi lần lượt là 3,2 m/s và 100°C, trong khi đó, nhiệt độ tác nhân sấy thích hợp khi sấy cà phê nhân ở máy sấy tháp là 45°C. Tổng thời gian thực tế để hoàn thành mẻ sấy 70 kg là 27,3 giờ. Các kết quả phân tích chi phí năng lượng riêng ở hệ thống sấy 2 giai đoạn đang nghiên cứu là 2,53 kWh/kg cà phê nhân khô, so với ở máy sấy tĩnh SRA là 2,24 kWh/kg và ở hệ thống sấy tĩnh kết hợp tổng quay là 2,37 kWh/kg.

**Từ khóa:** máy sấy cà phê nhân, máy sấy tầng sôi, máy sấy tháp, vận tốc gió bề mặt, nhiệt độ tác nhân sấy

### THE STUDY OF TWO-STAGE DRYING TECHNOLOGY USING FLUIDIZED-BED DRYER COMBINED WITH RECIRCULATING COLUMNAR DRYER FOR COFFEE BEAN

#### SUMMARY

The aim of study is to evaluate the efficiency of drying coffee bean by the two-stage drying technique using a fluidized-bed dryer combined a recirculating columnar dryer. The study was calculated, designed, and fabricated successfully a model of two-stage drying system including of a 70-kg/h fluidized-bed dryer and 70-kg/batch recirculating columnar dryer. The experiment results determined the main parameters of the appropriate-efficient drying regime, namely: the drying temperature of 100°C and the superficial air velocity of 3.2 m/s were applied at the fluidized-bed dryer, while the drying air temperature of 45°C at the recirculating column dryer to be suitable for drying coffee bean. The total drying time required to finalize one 70-kg batch was 27.3 hours. The analytic results for the parameter of specific energy consumption at the two-stage drying system-carried out under this study is 2.53 kWh/kg of dried product, comparing to that of 2.24 kWh and 2.37 kWh per 1 kg of dried product at the reversible flatbed dryer and the existing two-stage drying systems, respectively.

**Keywords:** coffee bean dryer, fluidized-bed dryer, recirculating column dryer, superficial air velocity, temperature of drying air.

#### 1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Việt Nam là nước thứ hai trên thế giới về sản xuất và xuất khẩu cà phê sau Brazil. Trên thực

tế, cà phê nhân xuất khẩu của Việt Nam chủ yếu là dạng nhân xô, có chất lượng thấp nên giá trị kim ngạch xuất khẩu mang lại chưa tương xứng.

<sup>(1)</sup> Trường Đại học Nông Lâm TP. Hồ Chí Minh.

Trong vài năm gần đây, để tăng giá trị và chất lượng cà phê, nhiều nông hộ và các đơn vị thu mua đã chuyển nhiều hơn sang phương pháp chế biến cà phê ướt, dùng máy sấy để làm khô cà phê nhân thay thế cho biện pháp phơi nắng thủ công truyền thống. Có nhiều phương pháp sấy cà phê nhân như sấy trong nhà kính, sấy tĩnh, sấy trống quay, sấy tháp (Ghosh và Venkatachalapathy, 2014). Phổ biến là sử dụng những máy sấy tĩnh vì ngang loại có đảo gió và không đảo gió, hoặc áp dụng máy sấy trống quay, được chế tạo bởi các cơ sở cơ khí địa phương hoặc ở các tỉnh lân cận. Rõ ràng, giải pháp sấy bằng máy để làm khô cà phê nhân cho phép chủ động được sản xuất, giảm thất thoát, khắc phục được những hạn chế ở phương pháp phơi nắng thủ công phụ thuộc vào thời tiết. Tuy nhiên, những công nghệ sấy này tồn tại nhược điểm lớn là thời gian sấy rất dài, trên 50 giờ sấy khi sấy cà phê nhân. Thời gian sấy kéo dài làm tăng chi phí sấy, làm giảm lợi nhuận khi sản xuất cà phê nhân.

Vi vậy, việc nghiên cứu sấy cà phê nhân hai giai đoạn kết hợp giữa sấy tầng sôi và sấy tháp là cần thiết, nhằm giải quyết cho khâu sấy cà phê nhân tươi, sao cho có thể rút ngắn được thời gian sấy, giảm áp lực thời vụ, nhưng vẫn đảm bảo các chỉ tiêu chất lượng hạt cà phê, từ đó sẽ giảm được chi phí ở khâu làm khô, và mang lại lợi nhuận nhiều hơn cho người đầu tư.

## 2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

### 2.1. Phương pháp thiết kế và chế tạo

Sấy cà phê có nguyên lý sấy khác nhau như sấy tĩnh, sấy thùng quay,... nhưng thời gian sấy thường kéo dài làm tăng chi phí sấy và chịu áp lực lớn do yếu tố thời vụ. Vì vậy, chọn máy sấy tầng sôi và máy sấy tháp theo nguyên lý sấy hai giai đoạn dùng cho sấy cà phê nhân tương tự như sấy hai giai đoạn cho sấy lúa (Dự án Sau

thu hoạch Lúa gạo ADB- IRRI RETA N<sup>o</sup>.6489, 2010), để áp dụng trong nghiên cứu này.

Xác định các thông số yêu cầu thiết kế ban đầu, phân tích lựa chọn mô hình và nguyên lý máy sấy phù hợp. Sử dụng lý thuyết tính toán máy sấy (Trần Văn Phú, 2008) tính toán chọn lựa vận tốc tới hạn trong máy sấy tầng sôi, nhiệt độ tác nhân sấy...

Để đảm bảo năng suất cà phê nhân sau khi qua sấy tháp khoảng 43 - 45 kg/m<sup>2</sup> (tương ứng cho một bao cà phê) nên chọn năng suất của máy sấy đầu vào ở tầng sôi 70 kg/giờ và ở sấy tháp là 70 kg/m<sup>2</sup>.

Từ các kết quả tính toán và thiết kế, tiến hành chế tạo hệ thống máy sấy cà phê theo từng cụm, và chế tạo dựa theo tiêu chuẩn Việt Nam.

### 2.2. Phương tiện thí nghiệm và dụng cụ đo

Hệ thống máy sấy cà phê nhân 2 giai đoạn với quy mô chỉ dùng trong điều kiện thí nghiệm. Hệ thống gồm các cụm thiết bị như sau:

Cụm máy sấy tầng sôi 70 kg/giờ và cụm máy sấy tháp 70 kg/m<sup>2</sup>.

Các dụng cụ đo dùng trong thực nghiệm bao gồm:

Cân điện tử Sartorius do Nhật sản xuất, cân tối đa 310 g, độ chính xác 0,01g

Cân bàn hiệu Nhơn Hòa 30 kg do Việt Nam sản xuất, độ chính xác 0,1 kg.

Máy đo ẩm độ Kett MP 600 do Nhật sản xuất, độ chính xác 0,3% dưới 20% độ ẩm

Tủ sấy mẫu hiệu Binder do Đức sản xuất, khoảng nhiệt độ + 10°C - 300°C.

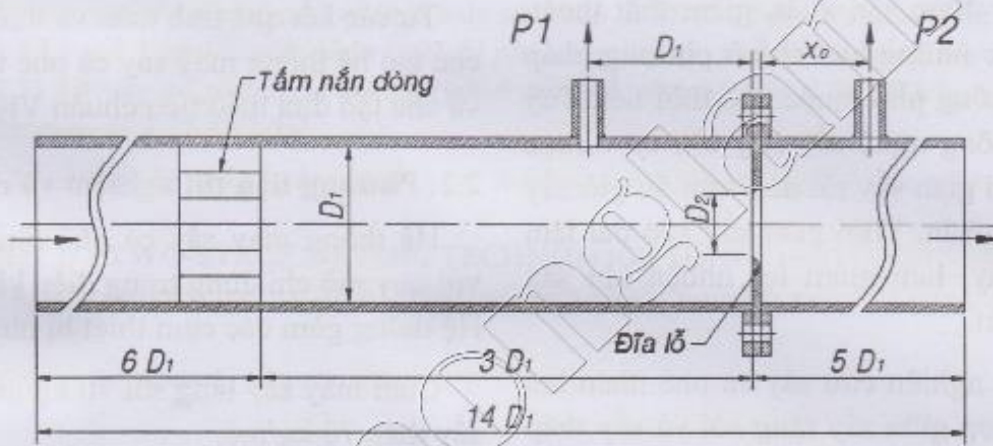
Áp kế điện tử mã hiệu DP-Cale-8702-M-GB do Nhật sản xuất, có thang đo trong khoảng - 245 - 3735 Pa, sai số 0,1 Pa

Máy đo công suất điện 3 pha Hioky do Nhật sản xuất, thang đo lớn nhất 1000 Arms AC và 600 Vrms AC, độ chính xác 0,1 kW

Nhiệt kế lưỡng kim Testo 925 do Đức sản xuất, thang đo -50 - 1000°C, độ chính xác 0,1°C đối với thang đo nhiệt độ nhỏ 200°C và 1°C đối với thang đo nhiệt độ lớn hơn 200°C.

Nhiệt kế tia laser Raytek cầm tay do Nhật sản xuất, thang đo từ -18 - 400°C, độ chính xác 0,1°C.

Dụng cụ đo gió Orifice như Hình 1.



Hình 1. Sơ đồ bố trí đĩa lỗ (Orifice) và dụng cụ đo gió

Công thức tính lưu lượng như sau:

$$Q = \alpha * A_2 * \sqrt{\frac{2 * \rho_{kk} * (P_1 - P_2)}{(1 - m^2)}}$$

Trong đó:

Q: Lưu lượng, kg/s;

$\alpha$ : Hệ số dòng chảy;

$A_2$ : Diện tích đĩa lỗ, m<sup>2</sup>

$\rho_{kk}$ : khối lượng riêng của không khí, kg/m<sup>3</sup>

t: nhiệt độ trung bình của không khí, °C

$\Delta P = P_1 - P_2$ : chênh lệch áp suất trước và sau đĩa lỗ, Pa

### 2.3. Phương pháp đo đặc

Có hai loại số liệu gồm: đo trực tiếp, và xác định gián tiếp. Các số liệu đo đặc trực tiếp gồm có: nhiệt độ, thời gian, khối lượng, ẩm độ hạt, áp suất, số vòng quay của quạt, công suất điện tiêu thụ,... Tất cả được xác định bằng các dụng cụ đo như nêu ở trên. Đối với các số liệu kỹ thuật như ẩm độ, chi phí năng lượng riêng, năng suất, hiệu suất,... được xác định thông qua các tính toán và nội suy từ các số liệu đo đặc trực tiếp.

a. Đo lưu lượng gió bằng phương pháp đo áp suất đĩa lỗ Orifice (Wessel, 2001)

$m = A_2 / A_1$ : là tỷ số giữa diện tích đĩa lỗ với diện tích ống đo (Ower và ctv, 1977).

b. Phương pháp xác định giảm ẩm độ của hạt cà phê trong quá trình sấy

Các mẫu cà phê nhân có độ ẩm ban đầu cao khoảng  $\geq 60\%$ , nên không thể dùng máy đo trực tiếp để xác định giá trị ẩm độ mà sẽ dùng phương pháp tủ sấy, tức là sẽ cân khối lượng ban đầu của mẫu, sau đó cho vào tủ sấy mẫu, sấy với nhiệt độ 103°C thời gian 72 giờ (ASAE, 1995) để tách hết nước trong hạt, sau đó cân khối lượng còn lại sau sấy sẽ xác định được ẩm độ hạt tại các thời điểm lấy mẫu trong quá trình

sấy. Ẩm độ của cà phê được tính trên cơ sở ướt:

$$MC = (G_{H_2O} / G_1) * 100$$

Trong đó:

MC: ẩm độ, %

$G_{H_2O}$ : khối lượng nước trong tổng khối lượng cà phê, g

$G_1$ : tổng khối lượng mẫu cà phê ban đầu, g

Các mẫu cà phê có độ ẩm thấp hơn 30% sẽ dùng máy đo ẩm độ theo phương pháp đo trực tiếp để xác định kết quả.

### 3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

#### 3.1. Kết quả tính toán thiết kế và chế tạo

Sơ đồ nguyên lý hệ thống máy sấy cà phê nhân hai giai đoạn được trình bày trên hình 2 với cấu tạo các bộ phận và thông số kỹ thuật như sau:

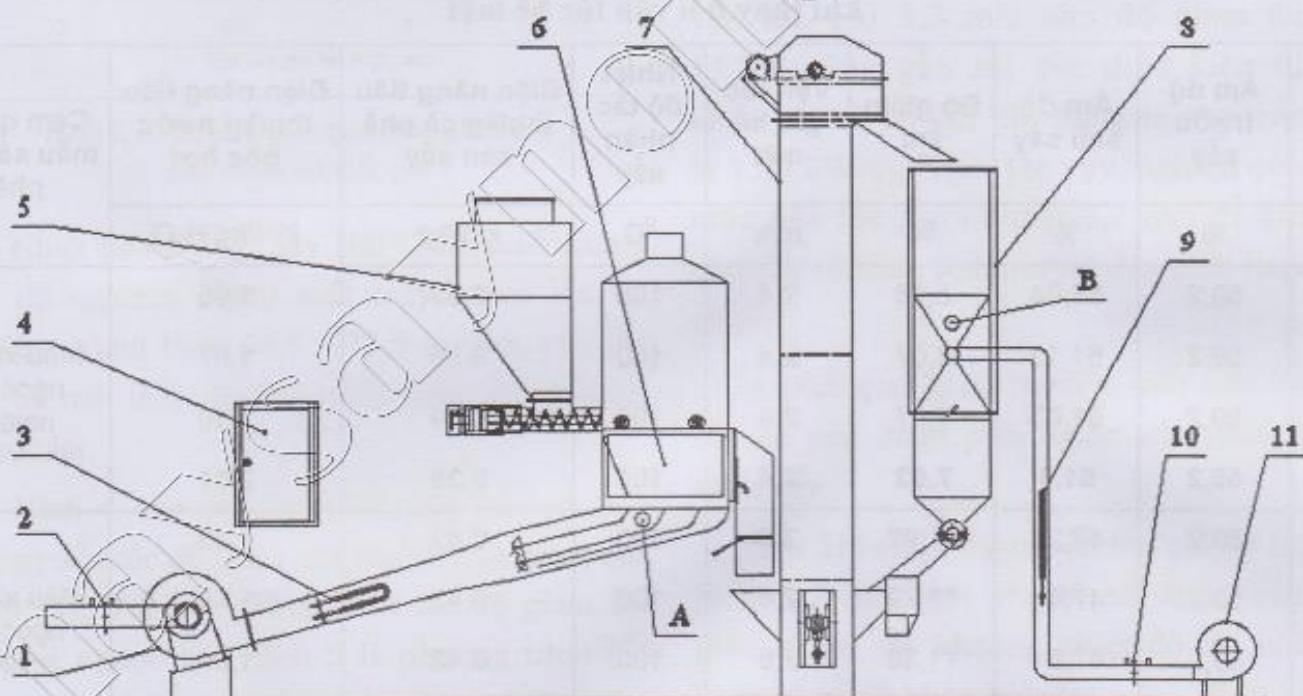
#### Máy sấy tầng sôi năng suất 70 kg/giờ

Máy gồm các bộ phận chính như: quạt ly tâm (1) có công suất 1,5 HP, cụm điện trở cấp nhiệt (2) có công suất 22 kW, buồng sấy (5) có diện tích sàn 0,075 m<sup>2</sup>, trục vít cấp liệu (4) có đường kính 90 mm. Tháo liệu bằng tấm gạt cân bằng.

#### Máy sấy tháp năng suất 70 kg/mẻ

Máy gồm các bộ phận chính như: quạt ly tâm (9) có công suất 1,5 HP, cụm điện trở cấp nhiệt (8) có công suất 3 kW, buồng sấy theo kiểu vi đứng (7) có thể tích vùng sấy là 0,041 m<sup>3</sup>, cấp liệu bằng gầu tải (6) công suất 1/4 HP. Cụm tháo liệu bằng trục cuốn đặt ở đáy của tháp chứa hạt (7).

**Các bộ phận phụ khác gồm:** các vị trí lấy mẫu, bộ phận đo gió kiểu Orifice,...



Hình 2. Sơ đồ hệ thống máy sấy hai giai đoạn (tầng sôi + tháp) dùng sấy cà phê nhân

- (1) Quạt sấy ly tâm (MSTS) (6) Buồng sấy (MSTS) (11) Quạt sấy ly tâm (MST)
- (2) Đĩa lỗ (orifice) đo gió (MSTS) (7) Gầu tải cấp liệu (MST) (A) Vị trí đo nhiệt độ (MSTS)
- (3) Điện trở cấp nhiệt (MSTS) (8) Thùng sấy (MST) (B) Vị trí đo nhiệt độ (MST)
- (4) Hộp điều khiển (MSTS) (9) Điện trở cấp nhiệt (MST)
- (5) Thùng chứa liệu (MSTS) (10) Đĩa lỗ (orifice) đo gió (MST)



Hình 3. Hệ thống máy sấy được lắp đặt để khảo nghiệm tại Cơ sở chế biến cà phê tại tỉnh Lâm Đồng

### 3.2. Kết quả khảo nghiệm máy sấy tầng sôi sấy cà phê nhân

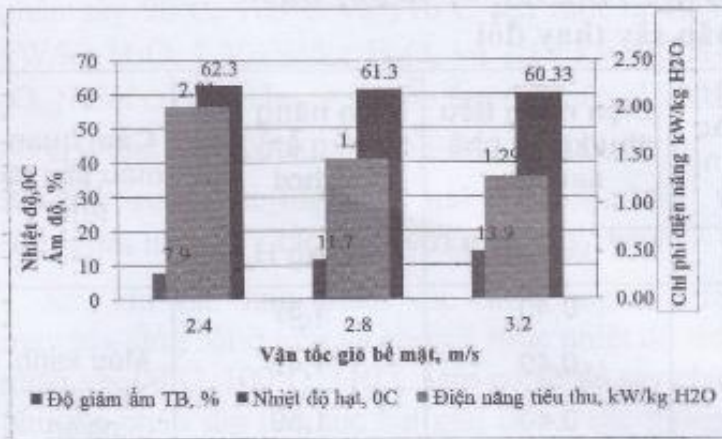
a. Kết quả khảo nghiệm máy sấy tầng sôi sấy cà phê nhân phụ thuộc vào vận tốc gió bề mặt

Cà phê nhân sau khi bóc vỏ, ngâm và rửa sạch để ráo được đưa vào hệ thống sấy thí

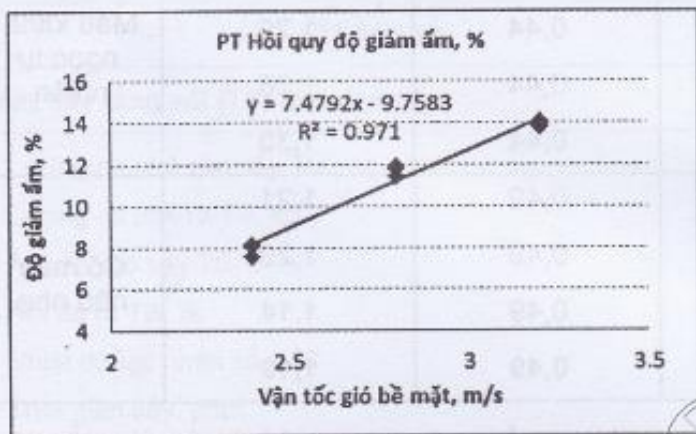
nghiệm. Trên cơ sở tham khảo nhiều tài liệu (Phan Hiếu Hiền và ctv, 2000) và theo các thí nghiệm thăm dò nếu vận tốc gió bề mặt thấp hơn 2,4 m/s thì hạt chưa có hiện tượng sôi và nếu vận tốc gió bề mặt lớn hơn 3,2 m/s thì khối hạt bắt đầu bị thổi bay ra cửa thoát. Vì vậy, chọn khoảng vận tốc gió bề mặt áp dụng khi sấy tầng sôi là từ 2,4 - 3,2 m/s và nhiệt độ tác nhân sấy là 90 - 110°C, để khi sấy nhiệt độ hạt không quá 65°C, hạt cà phê được sấy rất nhanh khoảng 4 - 5 phút và được làm nguội bằng công đoạn sấy giai đoạn 2 nên nhiệt độ tác nhân sấy cao. Vì vậy, khảo sát yếu tố vận tốc gió bề mặt và nhiệt độ tác nhân sấy ảnh hưởng đến kết quả sấy, và cố định các yếu tố khác. Tổng hợp kết quả các lần khảo nghiệm được trình bày trong Bảng 1.

Bảng 1. Kết quả khảo nghiệm máy sấy tầng sôi sấy cà phê nhân khi thay đổi vận tốc bề mặt

STT	Âm độ trước sấy	Âm độ sau sấy	Độ giảm ẩm	Vận tốc gió bề mặt	Nhiệt độ tác nhân sấy	Điện năng tiêu thụ/kg cà phê sau sấy	Điện năng tiêu thụ/kg nước bốc hơi	Cảm quan màu sắc cà phê
	%	%	%	m/s	°C	kW/kg	kW/kg H <sub>2</sub> O	
1	59,2	51,04	8,16	2,4	100	0,39	1,95	Màu xanh ngọc tự nhiên
2	59,2	51,13	8,07	2,4	100	0,39	1,97	
3	59,2	51,63	7,57	2,4	100	0,39	2,10	
<b>TB</b>	<b>59,2</b>	<b>51,3</b>	<b>7,93</b>	<b>2,4</b>	<b>100</b>	<b>0,39</b>	<b>2,01</b>	
4	59,2	47,28	11,92	2,8	100	0,42	1,43	Màu xanh ngọc tự nhiên
5	59,2	47,41	11,79	2,8	100	0,42	1,45	
6	59,2	47,81	11,39	2,8	100	0,42	1,51	
<b>TB</b>	<b>59,2</b>	<b>47,5</b>	<b>11,70</b>	<b>2,8</b>	<b>100</b>	<b>0,42</b>	<b>1,46</b>	
7	59,2	45,13	14,07	3,2	100	0,44	1,28	Màu xanh ngọc tự nhiên
8	59,2	45,28	13,92	3,2	100	0,44	1,29	
9	59,2	45,44	13,76	3,2	100	0,44	1,30	
<b>TB</b>	<b>59,2</b>	<b>45,3</b>	<b>13,92</b>	<b>3,2</b>	<b>100</b>	<b>0,44</b>	<b>1,29</b>	



Hình 4. Biểu đồ diễn biến các chỉ tiêu phụ thuộc vận tốc gió bề mặt



Hình 5. Đồ thị biểu diễn quá trình giảm ẩm phụ thuộc vận tốc gió

Nhiệt độ tác nhân sấy 100°C được cố định ở các thí nghiệm. Năng suất máy ở các lần thí nghiệm trung bình 64,5 - 73,9 kg/giờ, vận tốc gió bề mặt thấp sẽ làm năng suất sấy thấp và ngược lại.

Hình 4 cho thấy vận tốc gió bề mặt ảnh hưởng đến tốc độ giảm ẩm của cà phê trong quá trình sấy. Vận tốc gió cao thì tốc độ giảm ẩm cao, và ngược lại. Hình 5 là phương trình hồi quy tuyến tính tìm được, thể hiện quan hệ giữa vận tốc gió bề mặt và độ giảm ẩm, các thí nghiệm ở mức vận tốc gió bề mặt cao nhất là 3,2 m/s sẽ cho độ giảm ẩm cao nhất là

13,7%/một lượt sấy ở MSTS, nhiệt độ hạt sau sấy trung bình khoảng 60,3°C. Theo đánh giá cảm quan, màu sắc của cà phê sau sấy có màu tự nhiên.

Kết quả so sánh chi phí năng lượng riêng cho một kg ẩm bốc hơi (hình 4) sau khi qua máy sấy tầng sôi (tính cả chi phí điện năng sử dụng quạt sấy, gầu tải, trục cuốn và điện trở cấp nhiệt) giảm dần ứng với vận tốc gió bề mặt 2,4 m/s, 2,8 m/s, và 3,2 m/s tương ứng là 2,01 kW/kg H<sub>2</sub>O, 1,46 kW/kg H<sub>2</sub>O, và 1,29 kW/kg H<sub>2</sub>O. Vận tốc gió bề mặt cao nhất chi phí điện năng cho kg ẩm bốc hơi là thấp nhất 1,29 kW/kg H<sub>2</sub>O.

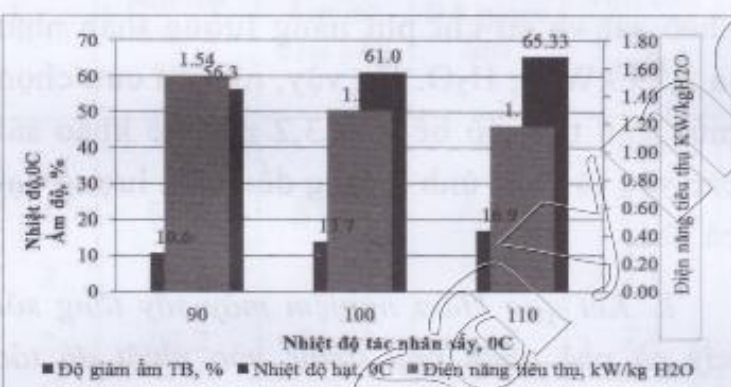
Các khoảng vận tốc gió bề mặt thấp cho kết quả quá trình giảm ẩm thấp và chi phí năng lượng cho kg ẩm bốc hơi cao. Khoảng vận tốc gió 3,2 m/s cho độ giảm ẩm cao 13,7% cũng gần sát với điều kiện thực tế khảo sát và có chi phí năng lượng thấp nhất là 1,29 kW/kg H<sub>2</sub>O. Do vậy, nghiên cứu chọn mức vận tốc gió bề mặt 3,2 m/s để khảo sát các yếu tố khác ảnh hưởng đến chất lượng hạt cà phê.

*b. Kết quả khảo nghiệm máy sấy tầng sôi sấy cà phê nhân phụ thuộc vào nhiệt độ tác nhân sấy*

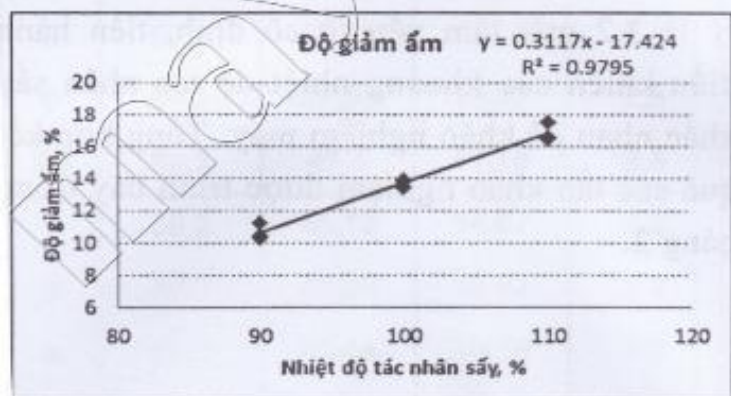
Sau khi chọn được vận tốc gió bề mặt hợp lý là 3,2 m/s làm yếu tố cố định, tiến hành điều khiển các khoảng nhiệt độ tác nhân sấy khác nhau để khảo nghiệm máy. Tổng hợp kết quả các lần khảo nghiệm được trình bày trong bảng 2.

**Bảng 2. Kết quả khảo nghiệm máy sấy tầng sôi sấy cà phê nhân khi nhiệt độ tác nhân sấy thay đổi**

STT	Âm độ trước sấy	Âm độ sau sấy	Độ giảm ẩm	Vận tốc gió bề mặt	Nhiệt độ tác nhân sấy	Điện năng tiêu thụ/kg cà phê sau sấy	Điện năng tiêu thụ/kg ẩm bốc hơi	Cảm quan màu sắc cà phê
	%	%	%	m/s	°C	kW/kg	KW/kg H <sub>2</sub> O	
1	59,2	48,8	10,4	3,2	90	0,40	1,57	Màu xanh ngọc tự nhiên
2	59,2	48,0	11,2	3,2	90	0,40	1,47	
3	59,2	48,9	10,3	3,2	90	0,40	1,59	
<b>TB</b>	<b>59,2</b>	<b>48,6</b>	<b>10,6</b>	<b>3,2</b>	<b>90</b>	<b>0,40</b>	<b>1,54</b>	
4	59,2	45,75	13,45	3,2	100	0,44	1,33	Màu xanh ngọc tự nhiên
5	59,2	45,27	13,93	3,2	100	0,44	1,29	
6	59,2	45,40	13,8	3,2	100	0,44	1,26	
<b>TB</b>	<b>59,2</b>	<b>45,5</b>	<b>13,7</b>	<b>3,2</b>	<b>100</b>	<b>0,44</b>	<b>1,30</b>	
7	59,2	42,7	16,5	3,2	110	0,49	1,21	Có màu nâu nhẹ
8	59,2	42,6	16,6	3,2	110	0,49	1,20	
9	59,2	41,7	17,5	3,2	110	0,49	1,14	
<b>TB</b>	<b>59,2</b>	<b>42,3</b>	<b>16,9</b>	<b>3,2</b>	<b>110</b>	<b>0,49</b>	<b>1,19</b>	



Hình 6. Biểu đồ diễn biến các chỉ tiêu phụ thuộc nhiệt độ tác nhân sấy



Hình 7. Đồ thị biểu diễn quá trình giảm ẩm

Năng suất máy trung bình ở các lần thí nghiệm là 72,2- 73,4 kg/giờ trong khoảng phù hợp với yêu cầu thiết kế. Vận tốc gió bề mặt cố định ở các thí nghiệm là 3,2 m/s (một yếu tố để đảm bảo độ sôi tốt nhất của vật liệu trong máy sấy tầng sôi).

Hình 6 cho thấy nhiệt độ tác nhân sấy ảnh hưởng đến tốc độ giảm ẩm của cà phê trong quá trình sấy. Nhiệt độ tác nhân sấy cao thì tốc độ giảm ẩm cao, và ngược lại. Phương trình hồi quy tuyến tính giữa nhiệt độ tác nhân sấy và độ giảm ẩm được xác định (hình 7), các thí nghiệm ở mức nhiệt độ cao nhất là 110°C cho kết quả độ giảm ẩm cao nhất là 16,9%/lượt sấy, nhiệt độ hạt sau sấy cao, trung bình 65,3°C, hạt có màu hơi nâu và không xanh ngọc đẹp bằng hai mức nhiệt độ 90°C và 100°C.

Chi phí năng lượng riêng cho một kg ẩm bốc hơi sau khi qua máy sấy tầng sôi (tính cả chi phí điện năng sử dụng quạt sấy, gầu tải, trục cuốn và



điện trở cấp nhiệt) giảm dần, ứng với nhiệt độ tác nhân sấy 90°C, 100°C và 110°C lần lượt là 1,54 kW/kg H<sub>2</sub>O, 1,30kW/kg H<sub>2</sub>O, và 1,19 kW/kg H<sub>2</sub>O. Nhiệt độ cao cho tỷ lệ bốc ẩm cao nên chi phí năng lượng cho một kg ẩm bốc hơi thấp.

### 3.3. Kết quả thí nghiệm sấy hai giai đoạn kết hợp giữa máy sấy tầng sôi với máy sấy tháp

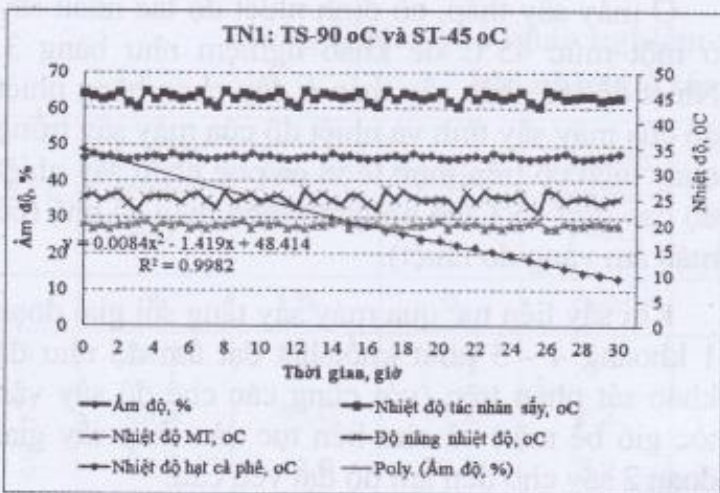
Sau khi xác định chính xác các thông số của máy sấy tầng sôi ở trên và chọn 3 mức nhiệt độ tác nhân sấy 90°C, 100°C, 110°C làm cơ sở để sấy cho phương pháp sấy liên tục hai giai đoạn, các thông số khác được cố định tại các mức đã khảo sát.

Ở máy sấy tháp, cố định nhiệt độ tác nhân sấy ở một mức 45°C để khảo nghiệm như bảng 3. Nhiệt độ tác nhân sấy thấp ở đây chọn bằng nhiệt độ của máy sấy tĩnh và nhiệt độ của máy sấy trống quay hiện có trên thực tế vì cả phê nhân sấy nhiệt độ cao hơn 45°C có nguy cơ biến màu cà phê (có màu ám vàng do nhiệt).

Khi sấy liên tục qua máy sấy tầng sôi giai đoạn 1 khoảng 4 - 5 phút khối hạt đạt ẩm độ như đã khảo sát phần trên (với cùng các chế độ sấy vận tốc gió bề mặt) và cho liên tục vào tháp sấy giai đoạn 2 sấy cho đến ẩm độ đạt yêu cầu.

**Bảng 3. Tóm tắt kết quả máy sấy hai giai đoạn sấy tầng sôi và sấy tháp**

Thông số	TN 1	TN 2	TN 3
<b>Máy sấy tầng sôi (TS) giai đoạn 1</b>			
- Lượng cà phê vào sấy TS, kg	90,6	94,0	101
- Lượng cà phê ra TS, kg	71,4	69,7	71,5
- Ẩm độ vào sấy TS, %	59,5	59,7	59,3
- Ẩm độ ra TS, %	48,6	45,7	42,5
- Nhiệt độ tác nhân sấy, °C	90	100	110
- Thời gian sấy, phút	74	77,37	83,1
- Điện năng tiêu thụ, kW	28,5	31,5	35,0
- Chi phí năng lượng điện, kW/kg hạt sau sấy	0,399	0,45	0,49
<b>Máy sấy tháp (ST) giai đoạn 2</b>			
- Lượng cà phê vào sấy, kg	71,4	69,7	71,5
- Lượng cà phê khô, kg	42,2	43,7	47,5
- Ẩm độ vào sấy tháp, %	48,5	45,7	42,5
- Ẩm độ ra, %	13,4	13,7	13,2
- Nhiệt độ tác nhân sấy, °C	45,2	45,4	45,5
- Nhiệt độ môi trường, °C	20,1	19,9	20,0
- Nhiệt độ hạt, °C	33,5	33,7	33,8
- Vận tốc di chuyển, m/giờ	3	3	3
- Lưu lượng gió, m <sup>3</sup> /s/tấn (vùng sấy)	2	2	2
- Vận tốc gió bề mặt, m/phút	21,1	21,1	21,1
- Thời gian sấy 1 lượt, phút	30	30	30
- Thời gian sấy, giờ	30	26	23
- Tĩnh áp, mmH <sub>2</sub> O	42	40	40
- Tổng điện năng tiêu thụ, kW	3,5	3,5	3,5
- Chi phí năng lượng điện, kW/kg hạt sau sấy	2,49	2,08	1,69



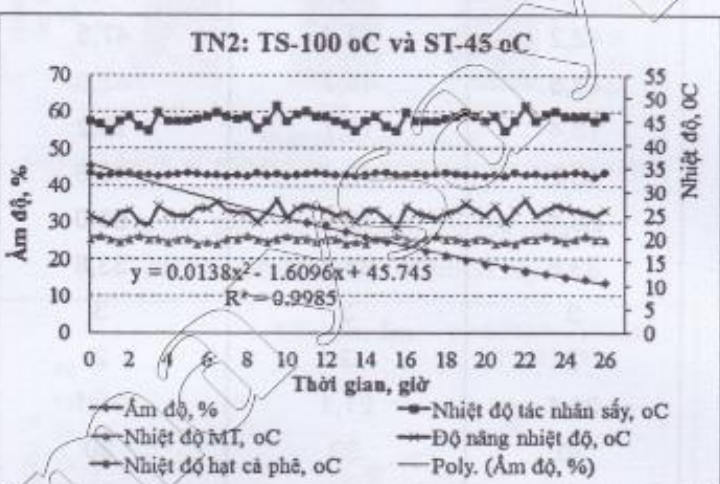
Hình 8. Kết quả sấy mẻ sấy TN1: TS-90°C và ST-45°C

Kết quả trình bày trong bảng 3 và đồ thị hình 8 biểu diễn các thông số diễn biến trong thí nghiệm sấy hai giai đoạn tầng sôi và tháp ở TN1, nhiệt độ tác nhân sấy tầng sôi ở mức 90°C và nhiệt độ tác nhân sấy tháp 45°C cho tổng thời gian sấy thực của 2 giai đoạn khá cao (31,2 giờ), tổng chi phí năng lượng riêng hai giai đoạn là 2,89 kWh/kg.

Phương trình hồi quy mô tả giảm ẩm của cà phê trong mẻ sấy tháp đã được xác định:

$$Y = 0,0084 * X^2 - 1,419 * X + 48,41$$

$$(R^2 = 0,998).$$



Hình 9. Kết quả sấy mẻ sấy TN2: TS-100°C và ST-45°C

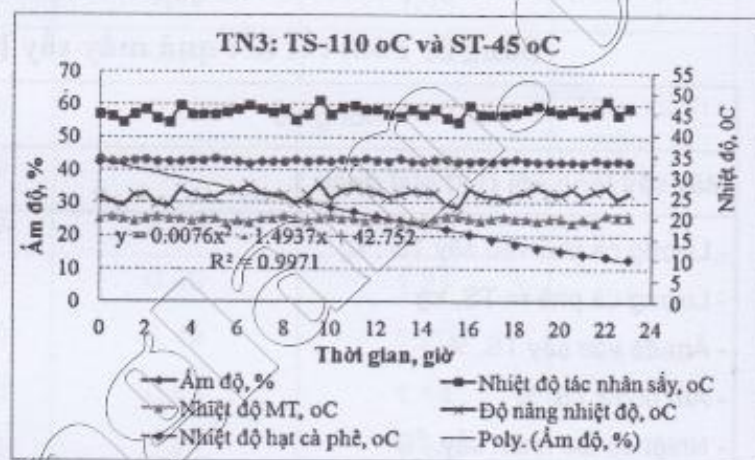
Kết quả trình bày trong bảng 3 và đồ thị ở hình 9 biểu diễn các thông số diễn biến trong thí

nghiệm sấy hai giai đoạn tầng sôi và tháp ở TN2, nhiệt độ tác nhân sấy tầng sôi ở mức 100°C và nhiệt độ tác nhân sấy tháp 45°C cho tổng thời gian sấy hai giai đoạn là khoảng 27,3 giờ, tổng chi phí năng lượng riêng của cả 2 giai đoạn là 2,53 kWh/kg.

Phương trình hồi quy mô tả giảm ẩm của cà phê trong mẻ sấy tháp đã được xác định:

$$Y = 0,0138 * X^2 - 1,609 * X + 45,745$$

$$(R^2 = 0,998).$$



Hình 10. Kết quả sấy mẻ sấy TN3: TS-110°C và ST-45°C

Kết quả ở Bảng 3 và đồ thị ở hình 10 biểu diễn các thông số diễn biến trong thí nghiệm sấy hai giai đoạn tầng sôi và tháp ở TN3, nhiệt độ tác nhân sấy tầng sôi ở 110°C và nhiệt độ tác nhân sấy tháp 45°C cho tổng thời gian sấy hai giai đoạn khoảng 24,4 giờ, tổng chi phí năng lượng riêng hai giai đoạn là 2,18 kWh/kg.

Phương trình hồi quy mô tả giảm ẩm của cà phê trong mẻ sấy tháp đã được xác định:

$$Y = 0,0076 * X^2 - 1,494 * X + 42,75$$

$$(R^2 = 0,998).$$

Kết quả phân tích thí nghiệm ở bảng 4 cho thấy màu sắt của cà phê ở mức nhiệt độ 110°C có sự biến vàng còn hai mức nhiệt độ 90°C và 100°C không có. Đây là dấu hiệu làm chất lượng cà phê không tốt. Chất lượng cà phê sau

sấy của phương pháp hai giai đoạn giữa tầng sôi và sấy thấp tương đương với các phương pháp hiện có trên thực tế khi sấy ở mức nhiệt độ 90 - 100°C. Do đó, nhiệt độ tác nhân sấy cà phê nhân với máy sấy tầng sôi thích hợp phải nhỏ hơn

110°C, chọn mức nhiệt độ tác nhân sấy tầng sôi 100°C và nhiệt độ tác nhân sấy thấp là 45°C là hợp lý nhất, tổng thời gian sấy là 27,3 giờ và tổng chi phí năng lượng là 2,53 kWh/kg

**Bảng 4. Kết quả phân tích thí nghiệm**

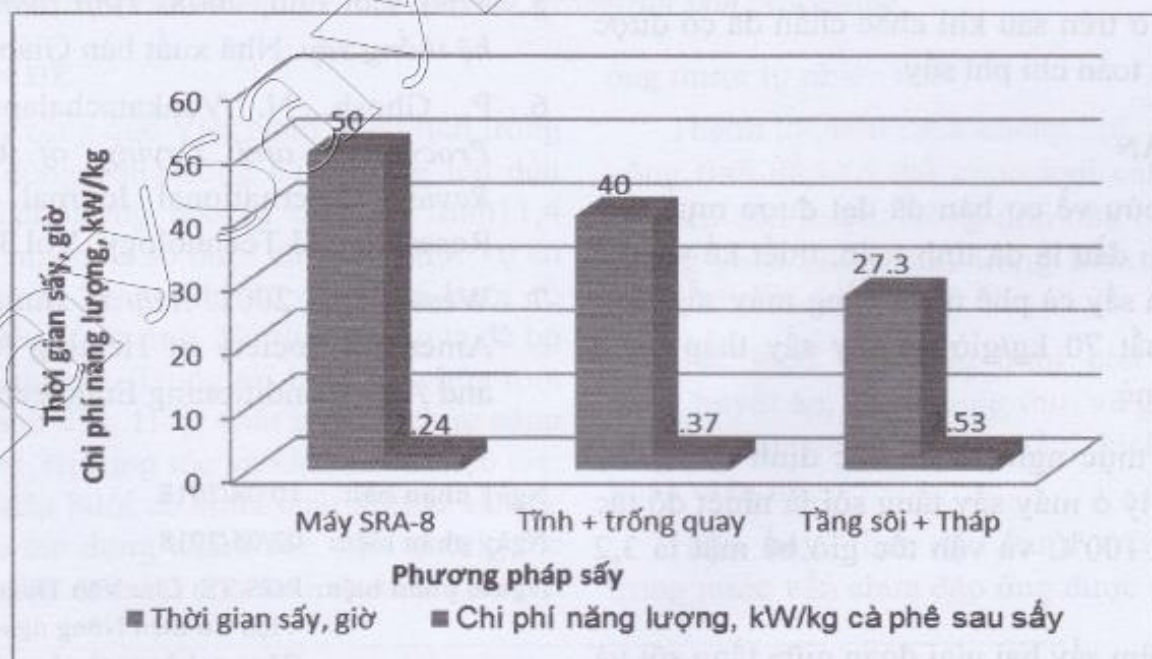
STT	Chỉ tiêu thử nghiệm	Đơn vị	Kết quả thử nghiệm			Phương pháp thử nghiệm
			Mẫu 1 90°C	Mẫu 2 100°C	Mẫu 3 110°C	
1	Độ ẩm	%	12,7	12,8	12,9	TCVN 6928 : 2007
2	Màu sắc	-	Xanh - xám	Xanh - xám	Xanh - xám vàng	Cảm quan
3	Protein	%	15,3	15,3	15,1	Ref. AOAC 987.04
4	Cafein	%	0,91	0,95	0,89	Ref. AOAC 925.17

**3.4. Kết quả phân tích tính khả thi của phương pháp sấy hai giai đoạn**

Do đây là mô hình máy sấy thí nghiệm hai giai đoạn nên chưa thể tính được chính xác các hiệu quả kinh tế của máy như chi phí sấy và đưa

ra quyết định tính khả thi để chọn lựa giải pháp sấy cà phê nhân hiệu quả nhất.

Dựa trên kết quả thí nghiệm và kết quả thu thập từ thực tế sản xuất, tạm tính và so sánh chi phí sử dụng năng lượng, thời gian sấy, tác động áp lực thời vụ và nhân công như hình 11.



Hình 11. Biểu đồ biểu diễn so sánh các chỉ tiêu của các phương pháp sấy

Theo đồ kết quả trình bày trên hình 11, chi phí năng lượng ở hệ thống sấy hai giai đoạn “tầng sôi và sấy thấp” là cao nhất là 2,53 kWh/kg so với sấy tĩnh đảo chiều gió SRA là 2,24 kWh/kg và hệ thống sấy hai giai đoạn “sấy tĩnh kết hợp trống quay” là 2,37 kWh/kg. Như vậy, chi phí năng lượng ở sấy hai giai đoạn tầng sôi và thấp là 2,53 kWh/kg cao nhất, nhưng không cao hơn nhiều so với sấy hai giai đoạn tĩnh + trống quay là 2,37 kWh/kg.

Thời gian sấy hai giai đoạn tầng sôi và thấp được rút ngắn xuống còn khoảng 27,3 giờ so với 40 giờ ở phương pháp sấy hai giai đoạn tĩnh kết hợp trống quay và 50 giờ so với phương pháp sấy tĩnh đảo chiều gió. Với việc giảm thời gian sấy cũng là yếu tố quan trọng để chọn lựa công nghệ nhằm giảm áp lực thời vụ, giảm nhân công lao động, giúp giải quyết tình trạng thiếu hụt lao động như hiện nay.

Qua đây cho thấy, với quy mô sản xuất nhỏ lẻ, nông hộ, phương pháp sấy cà phê nhân bằng máy sấy đảo chiều gió SRA là phù hợp do chi phí năng lượng thấp và chi phí đầu tư thấp. Đối với quy mô sản xuất lớn hơn hay đại lý thu mua, có thể chọn hai loại công nghệ sấy hai giai đoạn như đề cập ở trên sau khi chắc chắn đã có được kết quả tính toán chi phí sấy.

#### 4. KẾT LUẬN

Nghiên cứu về cơ bản đã đạt được mục tiêu đã đề ra ban đầu là đã tính toán, thiết kế và chế tạo mô hình sấy cà phê nhân bằng máy sấy tầng sôi năng suất 70 kg/giờ và sấy sấy thấp năng suất 70 kg/m<sup>2</sup>.

Kết quả thực nghiệm đã xác định được chế độ sấy hợp lý ở máy sấy tầng sôi là nhiệt độ tác nhân sấy là 100°C và vận tốc gió bề mặt là 3,2 m/s.

Thí nghiệm sấy hai giai đoạn giữa tầng sôi và thấp chọn được chế độ sấy hợp lý ở máy sấy

tầng sôi như: nhiệt độ tác nhân sấy là 100°C và vận tốc gió bề mặt là 3,2 m/s, và máy sấy thấp nhiệt độ tác nhân sấy 45°C, lưu lượng gió 2 m<sup>3</sup>/s/ tấn hạt cà phê.

So sánh về mặt chi phí năng lượng riêng và thời gian sấy của 3 phương pháp sấy và đưa ra chọn lựa công nghệ sấy cà phê phù hợp.

#### TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. ASAE (American Society of Agricultural Engineers). 1995. *Yearbook 1994*.
2. Dự Án Sau Thu Hoạch Lúa Gạo (ADB-IRRI RETA N<sup>o</sup>. 6489). 2010. Công nghệ sau thu hoạch lúa gạo ở Việt Nam, trang 187: *Kỹ thuật sấy 2 giai đoạn giữa sấy tầng sôi và sấy thấp áp dụng cho sấy lúa*. Nhà xuất bản Nông nghiệp, TP.HCM.
3. Phan Hiếu Hiền, Nguyễn Văn Xuân, Nguyễn Hùng Tâm, Lê Văn Bạ, Trương Vĩnh. 2000. *Máy Sấy hạt ở Việt Nam*. Nhà xuất bản Nông nghiệp, TP.HCM.
4. Ower E., R.C. Pankhurst. 1977. *The measurement of air flow*, 5<sup>th</sup> edition. Pergamon Press, Oxford.
5. Trần Văn Phú, 2008. *Tính toán và thiết kế hệ thống sấy*. Nhà xuất bản Giáo Dục.
6. P. Ghosh, N. Venkatachalapathy. 2014. *Processing and Drying of Coffee - A Review*, International Journal Engineering Research and Technology. Vol 3.
7. Wessel D.J. 2001. *Ashrae Handbook 2001*. American Society of Heating Refrigerating and Air - Conditioning Engineers..

Ngày nhận bài: 10/04/2018

Ngày phản biện: 02/05/2018

Người phản biện: PGS.TS. Chu Văn Thiện - Viện Cơ điện Nông nghiệp và Công nghệ sau thu hoạch.