

Nghiên cứu thực nghiệm sự ảnh hưởng của các thông số kết cấu của kênh sấy trong quá trình sấy sản khô dạng cục

Experimental research on the influence of drying channel's structural parameters on cassava morsel drying process

Nguyễn Tuấn Anh^{1,*}, Nguyễn Đình Tùng¹, Lê Minh Lư²

¹Viện Nghiên cứu thiết kế chế tạo máy Nông nghiệp, Bộ Công Thương

²Khoa Cơ điện, Học viện Nông nghiệp Việt Nam

*Email: tuananh.riam@gmail.com

Mobile: 0915423980

Tóm tắt

Từ khóa:

Sản cục; Quá trình sấy sản cục; Tối ưu hóa; Thông số kết cấu.

Bài báo trình bày kết quả nghiên cứu thực nghiệm sự ảnh hưởng của các thông số kết cấu của kênh sấy đến quá trình sấy sản cục trong máy sấy tháp dạng kênh. Kết quả phân tích quy hoạch thực nghiệm đa yếu tố với hàm mục tiêu là chi phí năng lượng riêng nhỏ nhất và thời gian sấy ngắn nhất, đã xác định được 5 thông số kết cấu đầu vào tối ưu như khoảng cách đỉnh kênh 327,18 mm; bước của hàng kênh 463,46 mm; chiều cao của kênh 250 mm; góc đỉnh kênh 53,39⁰; Bề rộng kênh 173,27 mm, qua đó cho thấy sự sai khác giữa kết quả thực nghiệm và kết quả tính toán là không nhiều.

Abstract

Keywords:

Cassava morsel; Cassava morsel drying process; Optimization; Structural parameters.

This article presents the results of experimental research on the influence of drying channel's structural parameters on cassava morsel drying process in the continuous cross-flow dryer. The analysis on the multi-factor experimental planning which includes objective function is the minimum individual energy consumption and the shortest drying time has identified five input optimal structural parameters such as: distance between the top of the channel: 463.46mm; channel spacing: 327 18mm; height of the channel: 250 mm; channel angle: 53.39⁰; channel width: 173.58 mm, thereby indicated that the difference between experimental results and calculation results is insignificant.

Ngày nhận bài: 02/07/2018

Ngày nhận bài sửa: 05/9/2018

Ngày chấp nhận đăng: 15/9/2018

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Sản được xếp hạng là một trong những cây lương thực chính và cũng là cây công nghiệp được trồng rộng khắp trên thế giới, có khoảng 100 quốc gia hiện tại đang trồng sản [1-2]. Sản được trồng tập trung tại các vùng nhiệt đới như châu Phi, châu Á, Nam Mỹ. Sản lượng sản trên thế giới trong những năm gần đây đạt được khoảng 288,9 ÷ 300 triệu tấn [1]. Riêng đối với Châu Á 3 nước dẫn đầu về sản lượng là Thái Lan, Indonesia và Việt Nam [2]. Trong những năm gần

đây ở Việt Nam vẫn là cây nông nghiệp được canh tác nhiều chỉ sau lúa và ngô, được trồng tại nhiều tỉnh thành trong cả nước, tổng diện tích trồng lên tới 566,5 nghìn ha, với năng suất bình quân 18,84 tấn/ha, cho sản lượng đạt 10,67 triệu tấn và có tăng “nhẹ” lên trong năm 2016 - 2017 [1-2]. Ở Việt Nam, hiện nay toàn bộ lượng sản khô đều được làm khô bằng phương pháp sấy vì ngang hoặc phơi khô tự nhiên nhờ ánh nắng mặt trời. Các phương pháp này có năng suất không cao và cho chất lượng sản phẩm thấp, khó đẩy mạnh phát triển theo hướng quy mô công nghiệp. Để có thể phát triển sấy sản cục chất lượng cao theo quy mô công nghiệp thì việc chuyển nguyên liệu sản từ dạng củ tự nhiên sang dạng cắt khúc, nghĩa là nguyên liệu sản sấy lúc này phải chuyển sang dạng cục với kích thước khoảng $3 \div 6$ cm để có thể quy về kích thước “tương đương” như dạng cục (particle), khi này ta có thể sử dụng nguyên lý sấy tháp tương tự như khi sấy hạt. Vấn đề đặt ra lúc này là kết cấu của tháp sấy như: kích thước của kênh sấy, góc đỉnh kênh, bề rộng kênh, chiều cao kênh, khoảng cách giữa các kênh/bước kênh, khoảng cách giữa các hàng kênh,... (gọi chung là các thông số kết cấu) cần phải đảm bảo hợp lý để cho quá trình “lưu chuyển” nguyên liệu trong tháp sấy phải đảm bảo để cho quá trình trao đổi nhiệt ẩm diễn ra tốt. Bởi theo kết quả nghiên cứu như trong tài liệu [3] cho thấy, các thông số kết cấu của kênh như bề rộng kênh, góc đỉnh kênh, khoảng cách giữa hai kênh liên tiếp và bước của hàng kênh chúng ảnh hưởng rất lớn tới khả năng tụt liệu, và ảnh hưởng tới sự trao đổi nhiệt ẩm từ đó làm tăng hay giảm thời gian sấy cũng như ảnh hưởng trực tiếp tới chi phí năng lượng riêng trong quá trình sấy, do đó ảnh hưởng trực tiếp tới chất lượng sản phẩm. Chính vì vậy cần phải đi sâu nghiên cứu sự ảnh hưởng của các thông số kết cấu tới thời gian sấy và chi phí năng lượng riêng trong quá trình sấy nhằm tìm được các cặp thông số kết cấu tối ưu phù hợp khi sấy sản khô dạng cục trên máy sấy tháp là nội dung chính được đề cập trong bài báo này.

2. ĐỐI TƯỢNG VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Vật liệu nghiên cứu

Vật liệu nghiên cứu trong bài báo này là sản củ tươi được băm thành cục nhờ máy băm/chặt khúc năng suất cao, có thể quy dẫn về kích thước tương đương khoảng $3 \div 6$ cm (hình 1 trái). Với độ ẩm đầu vào trước khi sấy được xác định khoảng 58 - 62% ẩm và độ ẩm đầu ra sau khi sấy là 13,5% (hình 1 phải).



Hình 1. Vật liệu sản cục trước khi sấy (trái) và sau khi sấy (phải)

2.2. Phương pháp nghiên cứu

- Phương pháp tính toán được sử dụng để xác định chi phí năng lượng riêng trong quá trình thực nghiệm. Giá trị chi phí năng lượng riêng được tính thông qua phương trình sau [4]:

$$q = \frac{m_{nl} \cdot Hu_{nl}}{W} = \frac{m_{nl} \cdot Hu_{nl}}{(m_1 - m_2)} \quad [\text{kWh/kg hơi H}_2\text{O}]$$

Trong đó:

q: Chi phí năng lượng riêng [kWh/kg hơi H₂O].

mn_l: Khối lượng nguyên liệu đốt [kg n_l]

W: Khối lượng ẩm cần bốc hơi [kg]

m₁: Khối lượng nguyên liệu trước khi sấy [kg]

m₂: Khối lượng sản phẩm sau khi sấy [kg]

Hun_l: Nhiệt trị thấp của nguyên liệu đốt [kJ/kg n_l]

Phương pháp tối ưu hóa quy hoạch thực nghiệm nghiên cứu ảnh hưởng của 5 yếu tố kết cấu đầu vào và yếu tố công nghệ là nhiệt độ sấy, vận tốc tác nhân sấy với hàm mục tiêu là chi phí năng lượng riêng và thời gian sấy tối ưu được sử dụng trong nghiên cứu này.

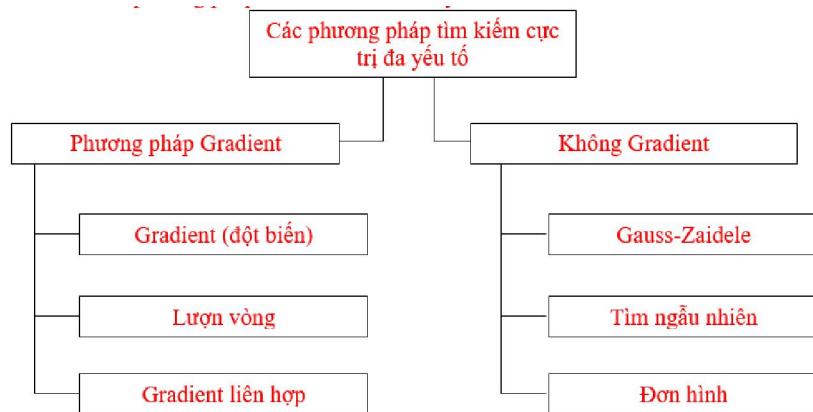
Phương pháp quy hoạch thực nghiệm đa yếu tố/đa mục tiêu sẽ chia thành hai giai đoạn:

Giai đoạn 1: Xây dựng mô hình bao gồm m phương trình hồi quy. Ta tiến hành N thí nghiệm nhưng tại mỗi thí nghiệm ta không chỉ đo giá trị của một biến ra mà là của m biến ra Y₁, Y₂, ..., Y_m.

Giai đoạn 2: Tìm điểm tối ưu chung cho m mô hình. Đến đây xảy ra hai trường hợp:

- Nếu thỏa mãn với độ chính xác của các mô hình thì chỉ việc sử dụng các phương pháp quy hoạch đa mục tiêu để tìm cực trị.
- Nếu không thỏa mãn với độ chính xác của các mô hình thì phải tiếp tục bằng quy hoạch thực nghiệm

Ví dụ về các phương pháp tìm kiếm cực trị đa yếu tố:



2.3. Thiết bị đo

Thiết bị đo trong quá trình thí nghiệm sử dụng các thiết bị sau đây:

- Máy đo độ ẩm Sartorius MA 45, được sản xuất bởi hãng Sartorius của Đức. Máy có màn hình tinh thể lỏng với cơ chế sấy mẫu bằng tia hồng ngoại và bức xạ nhiệt, mức cân tối đa 35 g, có độ nhạy 0,001 g với độ lặp lại 0,2% cho 1g và 0,05% cho 5 g. Giá trị hiển thị gồm % ẩm, % trọng lượng, tỉ lệ hóa hơi, thời gian sấy ngừng trong khoảng 0,1 ÷ 99 phút với nhiệt độ sấy mẫu có thể đặt trong khoảng 40 ÷ 230 °C.

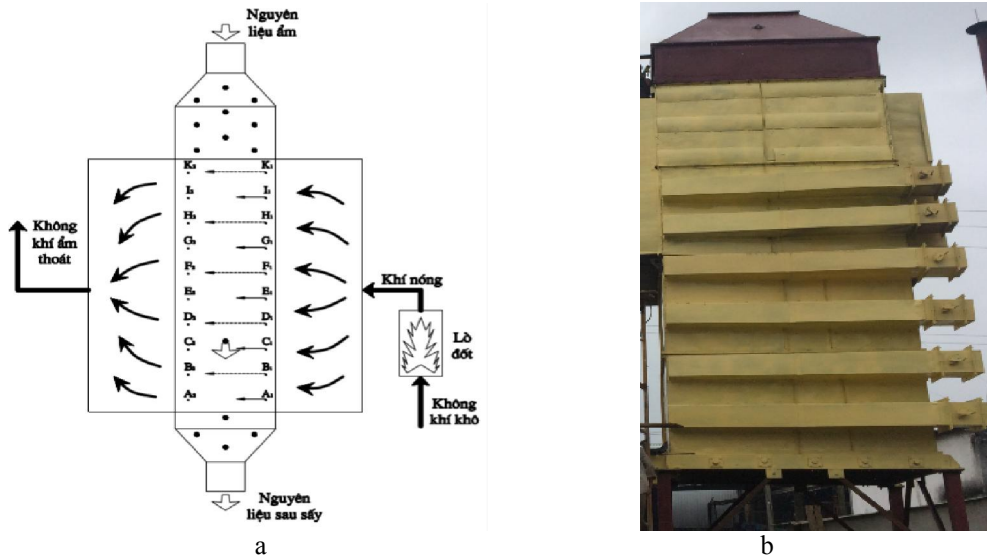
- Máy đo nhiệt độ TFI 650, do hãng Ebro của CHLB Đức sản xuất. Máy sử dụng điểm laser đôi, ngoài ra máy còn có thể gắn đầu đo, để đo được nhiệt độ cao ở tâm thiết bị, khoảng đo nhiệt độ từ - 60°C ÷ 1500°C, với dải đo 0,1°C có sai số 2%/ 2°C của giá trị đo.

- Máy đo tốc độ gió Testo 416, sản xuất bởi hãng Testo của CHLB Đức. Máy sử dụng đầu đo cánh quạt với khoảng đo 0,6 m/s ÷ 40 m/s, có độ chính xác 0,2 m/s hay 1,5% của giá trị đo và dải đo đến 0,1 m/s.

- Máy đo áp suất Testo 510, do hãng Testo của CHLB Đức sản xuất, với màn hình hiển thị đơn vị Pascal cho tất cả các giá trị đo và có thể chuyển đổi sang các đơn vị đo khác hPa, mbar, Pa, mmH₂O, inHg, mmHg, psi. Khoảng đo của thiết bị từ 0 ÷ 100 hPa, độ chính xác 0,03 hPa (0 - 0,3 hPa); 0,05 hPa (0,31 - 1 hPa); (0,1 hPa + 1,5% của giá trị đo) (1,01 ÷ 100 hPa) và dải đo 0,01 hPa.

3. KẾT QUẢ THẢO LUẬN

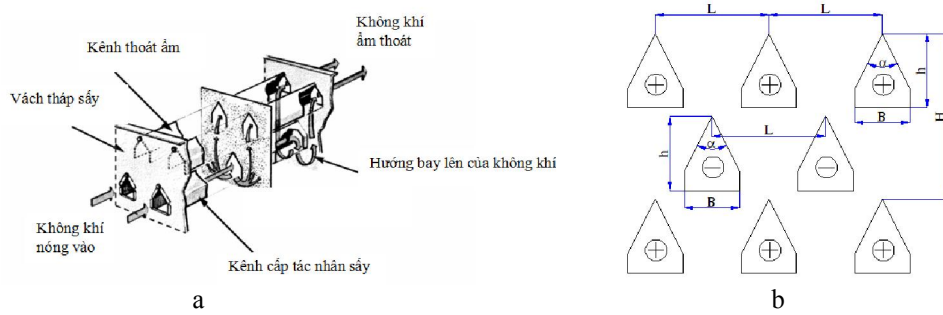
3.1. Thiết bị nghiên cứu



Hình 2. Nguyên lý kết cấu/cấu tạo và hoạt động của thiết bị nghiên cứu

Thiết bị nghiên cứu là thiết bị sấy sản cục theo nguyên lý sấy tháp quy mô công nghiệp năng suất 10 - 15 tấn SP/tháp (hình 2 phải), nguyên lý làm việc của thiết bị được thể hiện trên hình 2 trái). Trên hình 2 (trái) diễn tả nguyên lý làm việc của thiết bị. Tác nhân sấy được cấp vào từ lò đốt qua các kênh dẫn dòng tác nhân sấy ở bên trong thân tháp sấy, sau đó lên lõi xuyên qua lớp vật liệu sấy, các lớp sản được làm nóng bởi dòng tác nhân sấy. Trong quá trình trao đổi nhiệt ẩm, dòng hơi ẩm được vận chuyển tới các kênh thải ẩm cũng nằm bên trong thân tháp sấy, sau đó được thoát ra ngoài môi trường theo hệ thống thoát ẩm của thiết bị nhờ quạt gió. Đồng thời dòng vật liệu sấy được di chuyển dần theo chiều từ trên xuống dưới tương ứng với chu kỳ xả, và/hoặc khi đảo nguyên liệu (hình 2) [4]. Quá trình đảo trộn này làm cho nguyên liệu sấy có độ khô đồng đều.

Trên hình 3 diễn tả rõ hơn hướng di chuyển của dòng khí (dòng tác nhân sấy và dòng ẩm), kết cấu của các kênh sấy và kênh thải ẩm bên trong tháp sấy. Các kênh sấy và kênh thải ẩm được bố trí xen kẽ nhau nhằm mục tiêu cho quá trình trao đổi nhiệt ẩm trong quá trình sấy được diễn ra tốt hơn. Kết cấu và bố trí các kênh được trình bày trên hình 3b, thông số hình học của các kênh và hàng kênh được giới thiệu trên bảng 1 và được sử dụng làm cơ sở để thiết kế, chế tạo thiết bị thí nghiệm như trên hình 2.



Hình 3. Nguyên lý di chuyển của dòng khí (dòng tác nhân sấy và dòng ẩm), và các thông số kết cấu của kênh

Bảng 1. Các thông số kích thước hình học cơ bản của kênh sấy, tháp sấy từ mô hình Pilot

STT	Tên thông số	Ký hiệu	Giá trị	Thứ nguyên
1	Khoảng cách đỉnh hai kênh liên tiếp	L	350	mm
2	Bước của hàng kênh	H	500	mm
3	Bề rộng kênh	B	165	mm
4	Chiều cao của kênh	h	225	mm
5	Góc đỉnh kênh	α	53	độ ($^{\circ}$)

Để kiểm chứng kết quả của quá trình tính toán, ngoài ra để tìm các thông số tối ưu, hơn nữa giảm thời gian và chi phí trong quá trình thực nghiệm. Trong bài báo này nhóm tác giả đã sử dụng phương pháp quy hoạch hóa thực nghiệm để giải quyết vấn đề nêu trên, kết quả cụ thể được trình bày tại các mục 3.2 dưới đây.

3.2. Kết quả nghiên cứu tối ưu theo phương pháp quy hoạch thực nghiệm

Các thông số công nghệ như nhiệt độ sấy, vận tốc cấp tác nhân sấy là những yếu tố công nghệ chính tác động tới quá trình thiết kế của hệ thống sấy. Khi thiết kế hệ thống sấy tháp bên trong tháp sấy các kênh có kết cấu như hình 3b. Giá trị kích thước như khoảng cách đỉnh hai kênh trong hàng (L), bước của hàng kênh (H), chiều cao của kênh (h), bề rộng của kênh (B), và góc giữa đỉnh kênh (α) của chúng thay đổi sẽ ảnh hưởng trực tiếp tới khả năng sấy đặc biệt là tác động lớn tới thời gian sấy và chi phí năng lượng riêng. Tối ưu hóa các yếu tố kết cấu ảnh hưởng này sẽ cho ta lựa chọn được kết cấu máy thích hợp nhất. Được như vậy sẽ giảm được rất nhiều công chế tạo cũng như quá trình vận hành máy, giảm chi phí cho quá trình thực nghiệm. Trong nghiên cứu này nhóm tác giả lựa chọn sử dụng quy hoạch thực nghiệm trực giao để thiết kế các phương án thí nghiệm với 5 thông số kết cấu ảnh hưởng như: khoảng cách đỉnh hai kênh trong hàng (L), bước của hàng kênh (H), chiều cao của kênh (h), bề rộng của kênh (B), và góc giữa đỉnh kênh (α) và 2 yếu tố công nghệ ảnh hưởng như: Vận tốc tác nhân sấy (v), nhiệt độ tác nhân sấy (T).

Các yếu tố ảnh hưởng đã được mã hóa

- X₁ - Nhiệt độ sấy T ($^{\circ}$ C);
- X₂ - Vận tốc cấp tác nhân sấy v (m/s);
- X₃ - Khoảng cách đỉnh hai kênh trong hàng L (mm);
- X₄ - Bước của hàng kênh H (mm);
- X₅ - Chiều cao của kênh h (mm);
- X₆ - Bề rộng của kênh B (mm);
- X₇ - Góc giữa đỉnh kênh α ($^{\circ}$);

Chất lượng quá trình sấy đánh giá bởi thời gian sấy và chi phí năng lượng riêng

Y_1 - Chi phí năng lượng riêng q (kWh/kgH₂O);

Y_2 - Thời gian sấy t (h);

Tiến hành quy hoạch trực giao đối xứng, mỗi yếu tố tiến hành tại 3 mức (-1, 0, +1) như trong bảng 2 [5,6].

Bảng 2. Giá trị mã hóa và giá trị thực nghiệm của các yếu tố thực nghiệm

Biến số	Kí hiệu	Đơn vị	Ký hiệu giá trị mã hóa			
			-1	0	+1	
Thông số công nghệ	Nhiệt độ sấy T	X_1	$^{\circ}\text{C}$	60	80	100
	Vận tốc tác nhân sấy v	X_2	m/s	1,2	1,8	2,4
Thông số kết cấu	Khoảng cách đỉnh hai kênh trong hàng L	X_3	mm	300	350	400
	Bước của hàng kênh H	X_4	mm	450	500	550
	Chiều cao của kênh h	X_5	mm	200	225	250
	Bề rộng của kênh B	X_6	mm	155	165	175
	Góc giữa đỉnh kênh α	X_7	$^{\circ}$ (độ)	50	53	56

Theo [6] cho thấy, trong nghiên cứu này thông thường số thí nghiệm và số lần lặp lại trong mỗi thí nghiệm được xác định theo công thức thực nghiệm rút gọn $N = 2^{k-p}$. Ở đây tác giả sử dụng quy hoạch trực giao cấp 2, tiến hành lập bảng thí nghiệm đầy đủ với $k = 7$ khi đó với các điều kiện khắt khe về rút gọn p và cụ thể khi $n = 7$ thì $p = 1$ đó đó tổng số thí nghiệm: $N = 2^{k-p} = 2^{7-1} = 64$. Nhưng với đặc tính cơ bản của kế hoạch bậc 2 Box - Behnken với miền quy hoạch siêu khối vuông khi $n = 7$ thì số thí nghiệm là $N = 62$ (cụ thể số liệu thí nghiệm và kết quả thí nghiệm được trình bày trong bảng 3).

Các thông số tối ưu được xác định bằng thuật toán Box-Behnken với 2 hàm mục tiêu thời gian sấy và chi phí năng lượng riêng có phương trình hồi quy theo các hàm mục tiêu được xây dựng theo hàm hồi quy bậc hai với phương trình tổng quát sau [6]:

$$Y_z = b_0 + \sum_{i=1}^7 b_i X_i + \sum_{i=1}^7 \sum_{j=i+1}^7 b_{ij} X_i X_j + \sum_{i=1}^7 b_i X_i^2 \quad (1)$$

Quy hoạch thực nghiệm đưa ra bảng ma trận thực nghiệm gồm 62 thí nghiệm với 2 hàm đáp ứng được chọn là chi phí năng lượng riêng (Y_1 , kWh/kgH₂O), thời gian sấy (Y_2 , giờ), mô hình hóa được biểu diễn bằng phương trình bậc 2. Kết quả thiết kế với ma trận kế hoạch thực nghiệm trực giao bậc hai theo Box-Behnken [5,6] được trình bày ở bảng 3.

Bảng 3. Ma trận kế hoạch thực nghiệm trực giao bậc hai theo Box-Behnken

TN	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	Y_1	Y_2	TN	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	Y_1	Y_2
1	0	0	0	-1	-1	-1	0	0,9990	56,3	32	1	1	0	1	0	0	0	1,8435	39,4
2	0	0	0	1	-1	-1	0	0,9548	57,4	33	0	0	-1	-1	0	0	-1	1,0562	52,6
3	0	0	0	-1	1	-1	0	1,0035	55,2	34	0	0	1	-1	0	0	-1	1,0237	54,3
4	0	0	0	1	1	-1	0	0,9788	56,9	35	0	0	-1	1	0	0	-1	1,0397	53,5
5	0	0	0	-1	-1	1	0	1,0960	51,6	36	0	0	1	1	0	0	-1	1,0037	55,8
6	0	0	0	1	-1	1	0	1,0598	52,7	37	0	0	-1	-1	0	0	1	1,0710	51,3
7	0	0	0	-1	1	1	0	1,1003	51,3	38	0	0	1	-1	0	0	1	1,0398	53,9
8	0	0	0	1	1	1	0	1,0695	52,1	39	0	0	-1	1	0	0	1	1,0485	53,1
9	-1	0	0	0	0	-1	-1	0,6195	72,6	40	0	0	1	1	0	0	1	1,0123	55,2
10	1	0	0	0	0	-1	-1	1,2732	50,2	41	-1	0	-1	0	-1	0	0	0,6708	70,5

11	-1	0	0	0	0	1	-1	0,7062	68,2	42	1	0	-1	0	-1	0	0	1,3035	48,3
12	1	0	0	0	0	1	-1	1,3543	45,3	43	-1	0	1	0	-1	0	0	0,6378	71,5
13	-1	0	0	0	0	-1	1	0,6373	70,7	44	1	0	1	0	-1	0	0	1,2948	48,7
14	1	0	0	0	0	-1	1	1,2732	49,6	45	-1	0	-1	0	1	0	0	0,6970	68,7
15	-1	0	0	0	0	1	1	0,7160	67,5	46	1	0	-1	0	1	0	0	1,3277	46,5
16	1	0	0	0	0	1	1	1,3655	44,7	47	-1	0	1	0	1	0	0	0,6798	69,6
17	0	-1	0	0	-1	0	-1	0,6620	64,3	48	1	0	1	0	1	0	0	1,3368	46,8
18	0	1	0	0	-1	0	-1	1,3225	47,8	49	0	-1	-1	0	0	-1	0	0,6793	64,9
19	0	-1	0	0	1	0	-1	0,6828	62,3	50	0	1	-1	0	0	-1	0	1,3292	48,3
20	0	1	0	0	1	0	-1	1,3560	45,4	51	0	-1	1	0	0	-1	0	0,6438	65,7
21	0	-1	0	0	-1	0	1	0,6725	63,8	52	0	1	1	0	0	-1	0	1,3060	49,2
22	0	1	0	0	-1	0	1	1,3325	47,2	53	0	-1	-1	0	0	1	0	0,7243	61,6
23	0	-1	0	0	1	0	1	0,7027	61,9	54	0	1	-1	0	0	1	0	1,3640	44,7
24	0	1	0	0	1	0	1	1,3730	45,1	55	0	-1	1	0	0	1	0	0,7145	62,2
25	-1	-1	0	-1	0	0	0	0,4607	82,6	56	0	1	1	0	0	1	0	1,3527	45,4
26	1	-1	0	-1	0	0	0	0,9640	52,5	57	0	0	0	0	0	0	0	1,0358	53,2
27	-1	1	0	-1	0	0	0	0,9213	58,3	58	0	0	0	0	0	0	0	1,0587	54,3
28	1	1	0	-1	0	0	0	1,8760	37,2	59	0	0	0	0	0	0	0	1,0127	52,7
29	-1	-1	0	1	0	0	0	0,4293	84,3	60	0	0	0	0	0	0	0	1,0232	51,7
30	1	-1	0	1	0	0	0	0,9432	54,6	61	0	0	0	0	0	0	0	1,0545	52,3
31	-1	1	0	1	0	0	0	0,8987	59,6	62	0	0	0	0	0	0	0	1,0688	51,7

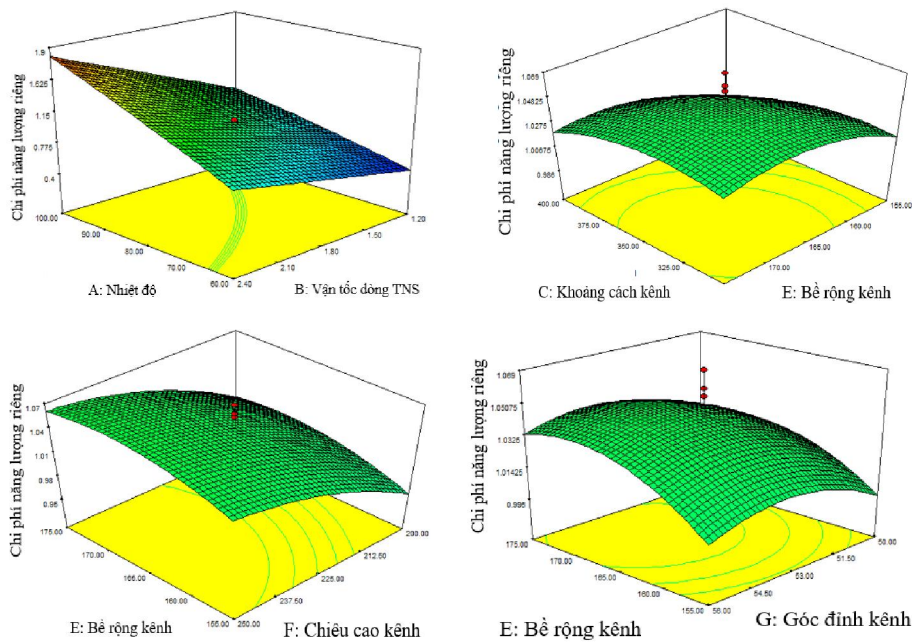
3.3. Đánh giá theo mục tiêu đến chi phí năng lượng riêng

Mô hình đánh giá chi phí năng lượng riêng được biểu diễn theo phương trình tổng quát (1) và quá trình tính toán trên ma trận Box – Behnken đã xác định được phương trình hồi quy:

$$\begin{aligned}
 Y_1 = & 1,04 + 0,34X_1 + 0,33X_2 - 0,011X_3 - 0,014X_4 + 0,013X_5 + 0,039X_6 + 6,029 \cdot 10^{-3} X_7 + 0,11X_1X_2 \\
 & + 6,325 \cdot 10^{-3} X_1X_3 + 8,75 \cdot 10^{-5} X_1X_4 - 2,5 \cdot 10^{-4} X_1X_5 + 1,025 \cdot 10^{-3} X_1X_6 - 2,025 \cdot 10^{-3} X_1X_7 + 1,135 \cdot 10^{-3} X_2X_3 \\
 & - 3,625 \cdot 10^{-4} X_2X_4 + 2,875 \cdot 10^{-3} X_2X_5 - 4,275 \cdot 10^{-3} X_2X_6 - 4,25 \cdot 10^{-4} X_2X_7 - 1,063 \cdot 10^{-3} X_3X_4 + 4,2 \cdot 10^{-3} X_3X_5 \\
 & + 4,7 \cdot 10^{-3} X_3X_6 + 1,375 \cdot 10^{-4} X_3X_7 + 3,113 \cdot 10^{-3} X_4X_5 + 2,375 \cdot 10^{-4} X_4X_6 - 1,688 \cdot 10^{-3} X_4X_7 - 1,812 \cdot 10^{-3} X_5X_6 \\
 & + 2,05 \cdot 10^{-3} X_5X_7 + 3,75 \cdot 10^{-4} X_6X_7 - 0,021X_1^2 - 3,611 \cdot 10^{-4} X_2^2 - 0,013X_3^2 + 0,021X_4^2 \\
 & - 0,015X_5^2 - 0,015X_6^2 - 0,014X_7^2
 \end{aligned}$$

Bên cạnh phương trình hồi quy còn xây dựng được các đồ thị biểu thị mối tương quan giữa các yếu tố. Trên Hình 4 biểu diễn mối quan hệ của các yếu tố công nghệ và kết cấu ảnh hưởng tới hàm mục tiêu là chi phí năng lượng riêng. Trên đồ thị có thể thấy các yếu tố công nghệ như nhiệt độ sấy và vận tốc cung cấp tác nhân sấy ảnh hưởng rất lớn tới chi phí năng lượng riêng. Nhiệt độ và vận tốc tác nhân sấy càng cao tiêu hao chi phí năng lượng riêng càng lớn, đặc biệt khi cả nhiệt độ vận tốc tác nhân sấy lớn thì chi phí năng lượng riêng tăng rất nhanh.

Đối với ảnh hưởng của các yếu tố kết cấu thì góc đỉnh kênh, bề rộng kênh, khoảng cách đỉnh kênh là có ảnh hưởng tới chi phí năng lượng riêng nhưng không nhiều. Còn chiều cao kênh, và bước hàng kênh có ảnh hưởng rất lớn tới chi phí năng lượng riêng. Chiều cao kênh thấp chi phí năng lượng riêng thấp, chiều cao càng cao chi phí năng lượng riêng càng lớn, còn bước hàng kênh càng lớn thì chi phí năng lượng riêng càng nhỏ mà bước hàng kênh càng nhỏ thì chi phí năng lượng riêng càng lớn.



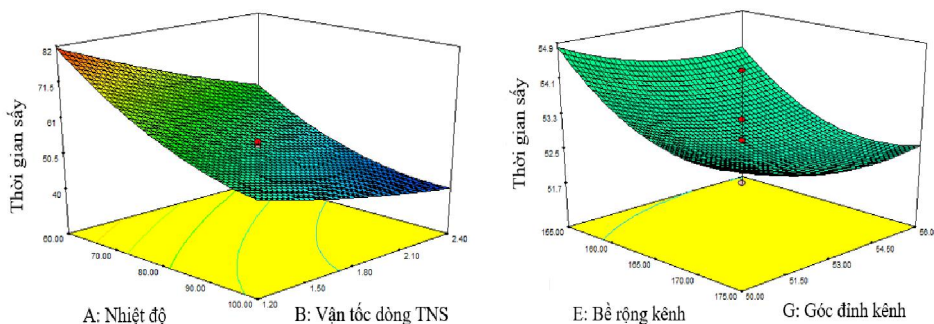
Hình 4. Đồ thị biểu diễn ảnh hưởng của các yếu tố công nghệ tới chi phí năng lượng riêng

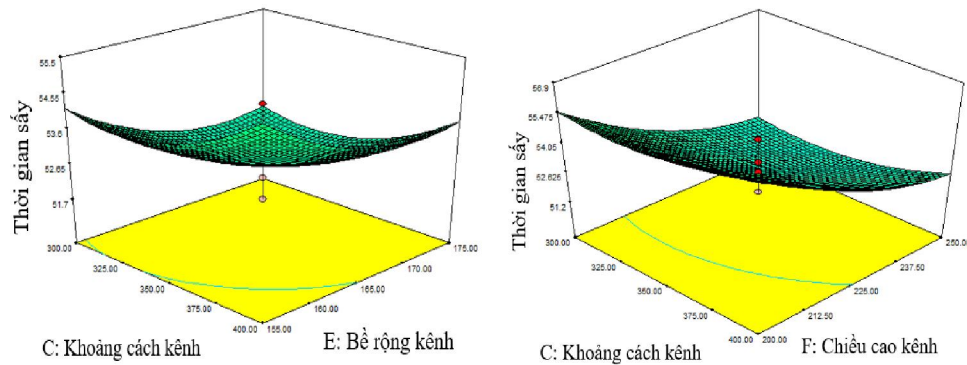
3.4. Đánh giá theo mục tiêu đến thời gian sấy

Mô hình đánh giá thời gian sấy được biểu diễn theo phương trình tổng quát (1) và quá trình tính toán trên ma trận Box - Behnken đã xác định được phương trình hồi quy:

$$\begin{aligned}
 Y_2 = & 52,65 - 11,68X_1 - 8,88X_2 + 0,6X_3 + 0,73X_4 - 0,76X_5 - 2,07X_6 - 0,35X_7 + 4,8X_1^2 + 1,07X_2^2 + 0,7X_3^2 + \\
 & 0,038X_4^2 + 0,68X_5^2 + 0,83X_6^2 + 0,32X_7^2 + 2,31X_1X_2 - 0,15X_1X_3 + 0,16X_1X_4 - 0,28X_1X_6 + 0,18X_1X_7 + \\
 & 0,025X_2X_3 - 0,038X_2X_4 - 0,075X_2X_5 - 0,075X_2X_6 + 0,013X_3X_4 - 0,025X_3X_5 - 0,05X_3X_6 + 0,088X_3X_7 + \\
 & 0,038X_4X_5 - 0,11X_4X_6 + 0,088X_4X_7 + 0,088X_5X_6 + 0,05X_5X_7 + 0,15X_6X_7
 \end{aligned}$$

Bên cạnh phương trình hồi quy còn xây dựng được các đồ thị thể hiện mối tương quan giữa các thông số. Hình 5 biểu diễn mối quan hệ của các yếu tố công nghệ và kết cấu ảnh hưởng hàm mục tiêu là thời gian sấy. Trên đồ thị có thể thấy các yếu tố công nghệ như nhiệt độ sấy và vận tốc tác nhân sấy ảnh hưởng rất lớn tới thời gian sấy. Nhiệt độ và vận tốc tác nhân sấy càng cao thời gian sấy càng nhỏ, khi cả nhiệt độ và vận tốc tác nhân sấy lớn thì thời gian sấy sẽ giảm rất nhanh.





Hình 5. Đồ thị biểu diễn ảnh hưởng của các yếu tố công nghệ tới thời gian sấy

Đối với ảnh hưởng của các yếu tố kết cấu trong khoảng biến thiên ta xét thì khoảng cách đỉnh kênh là có ảnh hưởng tới thời gian sấy là ít nhất, sau đó tới góc đỉnh kênh có ảnh hưởng nhưng không nhiều. Còn chiều cao kênh, bước hàng kênh và bề rộng kênh có ảnh hưởng rất lớn tới thời gian sấy. Chiều cao kênh thấp thời gian sấy dài, chiều cao càng cao thời gian sấy càng giảm, bước hàng kênh càng lớn thì thời gian sấy càng dài mà bước hàng kênh nhỏ thì thời gian sấy ngắn hơn, còn bề rộng kênh lớn thì thời gian sấy giảm xuống bề rộng kênh nhỏ thời gian sấy sẽ tăng lên.

Bài toán quy hoạch thực nghiệm tối ưu được giải bằng phần mềm Design Expert® 7.0 [5], xác định được 10 phương án tối ưu của các thông số công nghệ và kết cấu (Bảng 4).

Bảng 4. Kết quả kiểm tra mô hình của thuật toán tối ưu

TT	Góc α (độ)	BR kênh B (mm)	KC đỉnh kênh L (mm)	Chiều cao kênh h	Bước hàng kênh H (mm)	Vận tốc TNS v (m/s)	Nhiệt độ TNS T ($^{\circ}$ C)	CP năng lượng riêng q (kWh/kgH ₂ O)	Thời gian sấy t (giờ)	Hàm mong đợi
1	53,39	173,27	327,18	250	463,46	1,61	96,03	1,207705	46,528	0,699
2	55,26	170,63	324,03	250	462,14	1,61	96	1,20458	46,631	0,698
3	50,24	169,91	353,93	250	491,04	1,83	91,06	1,25281	45,968	0,694
4	56	166,78	309,19	246,1	450,9	1,78	92,04	1,264811	45,732	0,694
5	50	172,38	370,73	250	474,58	1,79	93,04	1,260975	45,899	0,693
6	51,64	175	328,37	250	528,51	1,6	97,51	1,193847	47,501	0,689
7	50	161,57	362,75	250	473,86	1,67	96,22	1,226734	46,892	0,689
8	56	166,36	300	214,84	529,51	2,4	79,57	1,340352	46,335	0,664
9	52,08	171,74	300	202,81	450	2,05	83,96	1,239545	48,993	0,656
10	52,1	175	400	217,87	450,09	2,4	72,96	1,211784	50,036	0,648

Trên bảng 4 là các phương án tối ưu trong đó có những điểm không phản ánh đúng giá trị thực của hàm mục tiêu là do phương pháp thiết lập dựa trên số lượng hữu hạn các điểm thực nghiệm chính vì vậy nhóm tác giả đã tiến hành kiểm chứng bằng thực nghiệm với một số phương án tối ưu trên. Kết quả kiểm tra cho thấy, sự sai khác/chênh lệch giữa mô hình và thực nghiệm tương đối nhỏ. Điều này chứng tỏ sự tính toán của mô hình tương đối thống nhất. Giải bài toán tối ưu cho các thông số kết cấu ảnh hưởng tới chất lượng sản phẩm sau khi sấy các thông số tối ưu tìm được của máy sấy tháp có giá trị như sau: Khoảng cách đỉnh kênh L = 327,18 mm; góc đỉnh kênh $\alpha = 53,39^{\circ}$; Chiều cao kênh h = 250 mm; Bước của hàng kênh H = 463,46

mm; Bề rộng kênh $B = 173,27$ mm; nhiệt độ sấy $T = 96,03$ °C và vận tốc tác nhân sấy $v = 1,61$ m/s cho thời gian sấy $t = 46,528$ giờ và chi phí năng lượng riêng $q = 1,207705$ kWh/kgH₂O. Các thông số tối ưu tìm được trên đây là cơ sở để thiết kế và thiết lập chế độ vận hành đối với máy sấy tháp có khả năng tốt nhất để sấy sản phẩm.

4. KẾT LUẬN

Sấy tháp là công nghệ sấy phù hợp cho sấy sản phẩm, tuy nhiên dựa vào đặc điểm của sản phẩm sấy phải có kết cấu phù hợp. Bởi các thông số kết cấu ảnh hưởng rất lớn tới chi phí năng lượng riêng và thời gian sấy. Để tìm được các giá trị kết cấu tối ưu nhằm giảm thiểu thời gian thực nghiệm phải tiến hành quy hoạch hóa thực nghiệm tối ưu, nhờ đó đã tìm được các cặp thông số kết cấu tối ưu cho trường hợp sấy sản phẩm như khoảng cách đỉnh kênh 327,18 mm; bước của hàng kênh 463,46 mm; chiều cao của kênh 250 mm; góc đỉnh kênh 53,39°; bề rộng kênh 173,27 mm, thời gian sấy 46,528 giờ, chi phí năng lượng riêng 1,207705 kWh/kg hơi H₂O, qua đó cho thấy sự sai khác giữa kết quả thực nghiệm và kết quả tính toán là không nhiều.

Dựa vào các cặp thông số kết cấu tối ưu này là cơ sở vững chắc cho việc chế tạo thiết bị theo quy mô công nghiệp.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Tổng cục Thống kê, 2016. Niên giám thống kê, NXB Thống kê, Hà Nội.
- [2]. Tổng cục Thống kê, 2017. Niên giám thống kê, NXB Thống kê, Hà Nội.
- [3]. Nguyễn Tuấn Anh, Lê Minh Lư, Nguyễn Đình Tùng, 2017. Nghiên cứu xác định các thông số cơ bản ảnh hưởng tới quá trình tạt liệu/tháo liệu đối với vật liệu sản phẩm trong hệ thống sấy tháp dạng kênh, *Tạp chí KHCN Xây Dựng*, (4): 172-177.
- [4]. Nguyễn Đình Tùng, 2015. Nghiên cứu sấy lạc trong máy sấy dòng cắt nhau, *Tạp chí Công nghiệp Nông thôn*, (20): 8-12.
- [5]. Design - Expert version 7.1, 2007. *Software for design of experiments*, Stat - Ease, Inc, Minneapolis, USA.
- [6]. Phạm Văn Lang, Bạch Quốc Khang, 1998. *Cơ sở lý thuyết quy hoạch thực nghiệm và ứng dụng trong kỹ thuật nông nghiệp*. NXB Nông nghiệp, Hà Nội.