

## NGHIÊN CỨU THỰC NGHIỆM XÁC ĐỊNH ẢNH HƯỞNG CỦA TẦN SỐ XUNG KHÍ ĐẾN QUÁ TRÌNH SẤY ĐƯỜNG RS TRÊN MÔ HÌNH SẤY TẦNG SÔI LIÊN TỤC CẤP KHÍ KIỂU XUNG BẰNG PHƯƠNG PHÁP THỰC NGHIỆM

BÙI TRUNG THÀNH

*Khoa Công nghệ Nhiệt Lạnh, Trường Đại học Công nghiệp Thành phố Hồ Chí Minh, buitrungthanh@iuh.edu.vn*

**Tóm tắt.** Nghiên cứu được thực hiện trên mô hình sấy tầng sôi liên tục cấp khí kiểu xung có năng suất 20kg/giờ. Thực nghiệm được thực hiện trong điều kiện tần số cấp khí kiểu xung được điều chỉnh phạm vi  $f=0,1-0,9$  Hz, trong khí 4 thông số sấy khác được cố định : chiều cao lớp hạt khô trợ sôi  $H_0 = 65$ mm, đường kính trung bình của hạt  $d_p = 0,8$ mm, nhiệt độ tác nhân sấy  $t_g = 70^\circ\text{C}$  và vận tốc tác nhân sấy  $v_g = 2$ m/s. Kết quả thực nghiệm đã xác định tần số cấp khí kiểu xung  $f = 0,6$  Hz cho giá trị độ ẩm sản phẩm  $M_2 = 0,05\%$  (phù hợp theo TCVN 6958:2001); tiêu hao điện năng  $N = 203$  Wh/kg sản phẩm; tiêu hao nhiệt lượng riêng  $q = 955$  kJ/kg sản phẩm và hiệu suất thu hồi chính phẩm  $\eta = 91\%$ .

Khí ở tần số cấp khí kiểu xung thấp hơn hay cao hơn đều làm cho  $M_2$ ,  $q$ ,  $N$  tăng lên. Như vậy tần số cấp khí xung được chọn ở mức 0,6 Hz cho quá trình sấy đường RS trên mô hình sấy tầng sôi liên tục cấp khí kiểu xung

**Từ khóa.** Đường RS, sấy đường, lớp sôi liên tục, tần số cấp xung khí, độ ẩm nguyên liệu, chế độ sấy đường.

### INFLUENCED DETERMINATION OF THE HOT AIR PULSED FREQUENCY TO THE REFINED SUGAR CANE DRYING REGIME ON THE MODEL OF PULSED CONTINUOUS FLUIDIZED BED

**Abstract.** This research were conducted on the model of pulsed continuous fluidized bed that its capacity was 20kg/h. The experiment was performed the hot air pulsed frequency ( $f$ ) were 0,1-0,9Hz during the 04 (four) technological parameters of dryng regimes was fixed which including the height of basical dried layer ( $H_0$ ) was 65mm, the hot air temperature( $t_g$ ) was  $70^\circ\text{C}$ , the mean diameter of RS grain( $d_p$ ) was 0,8mm and hot air velocity was 2m/s . The experiment was found out the hot air pulsed frequency ( $f$ ) were 0,6hz which was obtained the moisture contents ( $M_2$ ) was 0,05% (this moisture content met the TCVN 6958:2001), the specific heat consumption( $q$ ) was 955kJ/ kg of finished product, the specific electrical consumption ( $N$ ) was 203Wh/ kg finished product and the efficiency of finished product( $\eta$ ) was 91% .

When the lower or higher hot air pulsed frequency that  $M_2$ ,  $q$ ,  $N$  were increased. Therefore, the hot air pulse frequency at 0.6 Hz was selected for RS drying in the pulsed continuous fluidized bed

**Keywords.** refined sugar cane, sugarcane drying, continuous fluidized bed, hot air pulse frequency, moisture content, drying regimes

#### 1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Độ ẩm đường mía RS (refined sugar cane) sau ly tâm thường từ 1% – 2% [2][7][8][16]. Theo Mohamed Mathlouthi (2014) trong [16] và Chung Chi Chou (2000) trong [17], nếu ẩm trong đường không được loại bỏ thì nhanh chóng bị nhiễm khuẩn, chuyển sang màu tối và đặc biệt sẽ vón thành từng cục, thành khối. Độ ẩm của đường RS khi bảo quản lâu dài để thương mại yêu cầu phải nhỏ hơn 0,2%, độ ẩm sản phẩm đường tinh luyện RE không lớn hơn 0,05% [7][8]. Do vậy đường RS ngay sau ly tâm phải được sấy khô để vừa đảm bảo chất lượng và cho phép bảo quản lâu dài.

Từ trước đến nay đường thường được sấy bằng máy sấy thùng quay [15], sau đó dần được thay thế bằng máy sấy tầng sôi (fluidized dryer). Máy sấy tầng sôi đã cho phép nâng cao hơn về mặt chất lượng sấy vật liệu rời nói chung và đường RS nói riêng [12],[13]. Giải pháp sấy vật liệu rời nói chung, sấy đường RS nói riêng trên máy sấy tầng sôi cho nhiều ưu điểm vượt trội về mặt chất lượng so với các loại

máy sấy khác, nhưng máy sấy tầng sôi lại tiêu hao điện năng cao hơn các máy sấy khác.[1][10]. Để giải quyết tiêu chí tiết kiệm năng lượng đối với sấy máy sấy tầng sôi, Gawrzynski và cộng sự (1999) [10] đã đề xuất ra một phương pháp sấy tầng sôi kiểu cấp khí kiểu xung, còn gọi là máy sấy tầng sôi xung khí (pulsed fluidized bed - PFB). Phương pháp sấy tầng sôi xung khí cho phép tiết kiệm năng lượng hơn phương pháp sấy thông thường [10][18]. Somkiat Prachayawarakorn và cộng sự (2005)[18] đã công bố tiêu hao năng lượng cho quá trình sấy tầng sôi xung khí khi sấy lúa thấp hơn 30- 50% so với tầng sôi thông thường [18]. Theo Marcello Nitz, Osvaldir P. Taranto (2009)[15], dải tần số xung khí phù hợp để sấy tầng sôi xung khí dạng mẻ là từ 5-15Hz, nhưng cũng theo khuyến cáo đối với mỗi loại vật liệu khác nhau cần phải tổ chức nghiên cứu thực nghiệm xác định dải tần số xung khí hợp lý, ngoài ra trong [15] cũng đã có các nghiên cứu thực nghiệm về ảnh hưởng của nhiệt độ sấy, tần số xung khí đến tổn thất áp suất, thời gian sấy đối với vật liệu hạt xốp có đường kính trung bình 2,06mm

Nội dung bài báo này được tác giả trình bày kết quả nghiên cứu thực nghiệm xác định ảnh hưởng của tần số cấp tác nhân sấy kiểu xung trong sấy đường RS ảnh hưởng đến độ ẩm hạt sấy, tiêu hao điện năng riêng, tiêu hao nhiệt năng riêng và tỷ lệ thu hồi sản phẩm chính phẩm.

## 2. VẬT LIỆU VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

### 2.1 Vật liệu và mô hình thí nghiệm

Đường RS trong nghiên cứu thực nghiệm được lấy từ dây chuyền sản xuất đường RS công nghiệp tại Nhà máy đường CASUCO, Cần Thơ, Việt Nam có độ ẩm trung bình sau máy ly tâm  $M_1 = 1,5\% \pm 0,2$ , kích thước hạt sấy trung bình  $d_p = 0,8\text{mm}$ . Mô hình sấy được thiết kế có năng suất  $G_1 = 20\text{kg/giờ}$ , trong đó gắn có bộ cấp liệu, cung cấp đường nguyên liệu vào buồng sấy có năng suất ổn định 0,33 kg/phút, một bộ điện trở gia nhiệt tác nhân sấy cho phép điều chỉnh nhiệt độ tác nhân sấy theo yêu cầu thí nghiệm. Độ ẩm tương đối của không khí môi trường trong thời gian thí nghiệm được xác định được trong phạm vi  $\phi_a = 70 \div 75 \%$ , nhiệt độ môi trường  $t_0 = 30 \div 31^\circ\text{C}$ . Lớp đường RS khô làm lớp đệm trợ sôi ban đầu được ứng dụng theo [5] có cấp hạt đa phân tán phạm vi từ 0,5- 1mm, độ ẩm 0,05%.

Bảng 1. Các thông số cơ bản của mô hình sấy tầng sôi xung khí

STT	Thiết bị/bộ phận	Thông số kỹ thuật
1	Quạt cấp tác nhân	Lưu lượng: 0,63 m <sup>3</sup> /s, Tổng áp: 1244 Pa, Công suất động cơ: 2,2 kW
2	Bộ gia nhiệt điện trở	Kích thước tổng thể (DxRxC): 600mm x 630mm x 275mm Công suất nhiệt: 1,0 kW, Số thanh điện trở: 6
3	Thiết bị tạo xung khí	Kích thước tổng thể (DxRxC): 600mm x 550mm x 550mm Đường kính đĩa quay và đĩa tĩnh: 500mm và 550mm, Đường kính lỗ phân phối: 150mm, Số lỗ trên đĩa quay và đĩa tĩnh: 01 và 06, Công suất động cơ: 1 Hp
4	Buồng sấy	Kích thước tổng thể (DxRxC): 1750mm x 300mm x 350mm, Vật liệu chế tạo: SUS304
5	Buồng lắng	Kích thước tổng thể (DxRxC): 1750mm x 450mm x 350mm Vật liệu chế tạo: SUS304

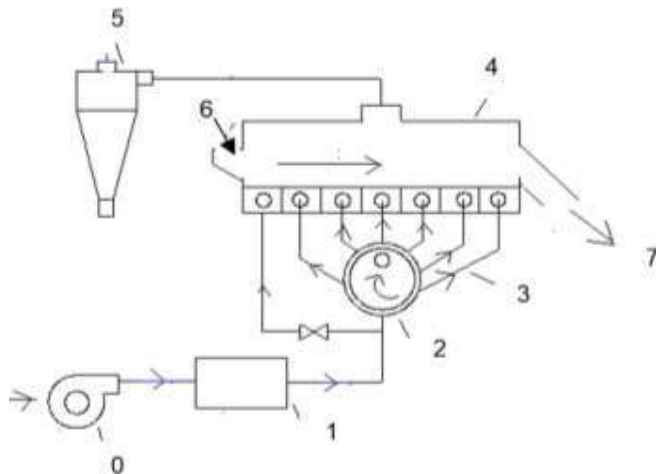
### 2.2 Dụng cụ thí nghiệm

Mô hình thực nghiệm như theo hình 1, được đặt tại khoa Công nghệ Nhiệt Lạnh, trường Đại học công nghiệp Tp.HCM. Dụng cụ theo dõi thí nghiệm trình bày theo Bảng 2.

Bảng 2. Dụng cụ theo dõi thí nghiệm

STT	Tên dụng cụ	Công dụng	Mã/ nước sản xuất	Khoảng đo /sai số
1	Bộ điều khiển Autonics	Điều khiển nhiệt độ tác nhân sấy thông qua điện trở	TZN4M (CHLB Đức)	Sai số đo 0,01%,
2	Biến tần Hitachi	Điều khiển lưu lượng quạt cấp khí	X200 (CHLB Đức)	Sai số đo 0,01%,

3	Biến tần	Điều khiển tần số cấp khí kiểu xung	Schneider ATV312HU15M2 (CHLB Đức)	Sai số đo 0,01%,
4	Máy đo độ ẩm kiểu cân sấy	Đo độ ẩm nguyên liệu và sản phẩm đường RS	Axis AGS100 (CHLB Đức)	Sai số đo 0,01%,
5	Dụng cụ đo vận tốc gió	Đo vận tốc tác nhân sấy	Extech SDL350 (Đài Loan)	Sai số 0,01 m/s
6	Cân Nhơn Hòa	Đo nguyên liệu và sản phẩm sấy	Việt Nam	Sai số $\pm 100$ g
7	Đồng hồ điện 3 pha EMIC MV3E4	Đo tiêu thụ điện tổng cộng	Việt Nam	Sai số đo 2% toàn dải đo
8	Bộ điều khiển nhiệt độ Autonics TZN4M	Điều khiển điện trở để điều chỉnh nhiệt độ tác nhân sấy	Nhật	Sai số đo 0,03%,
9	Bộ ghi PNTECH DDC-C46	Ghi dữ liệu nhiệt độ trong quá trình sấy	Canada	0-400°C Sai số 0,5°C.



0-Quạt cấp tác nhân; 1- Buồng gia nhiệt điện trở; 2- Bộ tạo xung khí; 3- ống dẫn khí; 4- Buồng sấy; 5- Cyclone thu bụi; 6- Nạp liệu; 7- Cửa ra sản phẩm.

Hình 1. Mô hình máy sấy tầng sôi liên tục cấp khí kiểu xung phục vụ thí nghiệm

### 2.3 Phương pháp nghiên cứu

#### ▪ Giai đoạn thí nghiệm thăm dò

Tiến hành xây dựng bộ số liệu thí nghiệm thăm dò trước khi thực hiện thí nghiệm đơn yếu tố. Mức thí nghiệm nhiệt độ sấy dựa vào các nguồn tài liệu kỹ thuật sấy đường RS trong [7],[12],[13] và số liệu khảo sát thực tế và các ý kiến của các chuyên gia trong lĩnh vực sấy đường RS tại các nhà máy đường CASUCO Cần Thơ, Việt Nam.

#### ▪ Giai đoạn thực hiện các thí nghiệm

Cách thức áp dụng cho nghiên cứu trong bài báo này là cố định các yếu tố công nghệ đầu vào gồm: nhiệt độ tác nhân sấy ( $t_g, ^\circ\text{C}$ ), vận tốc tác nhân sấy ( $v_g, \text{m/s}$ ), chiều cao lớp trọt sôi ban đầu ( $H_0, \text{mm}$ ) và đường kính trung bình hạt sấy ( $d_p, \text{mm}$ ) trong khi tần số cấp xung khí sấy ( $f, \text{hz}$ ) được điều chỉnh theo thực nghiệm, miền tần số cấp khí kiểu xung từ 0,1-0,9Hz

### 2.4 Xác định các thông số công nghệ và các hàm mục tiêu

#### 2.4.1 Xác định các thông số công nghệ

a) **Nhiệt độ tác nhân sấy  $t_g$  ( $^\circ\text{C}$ ):** Theo [7],[12],[13] cho thấy nhiệt độ sấy đường RS có thể biến thiên từ  $50^\circ\text{C} \div 90^\circ\text{C}$ . Trong thực nghiệm này  $t_g$  được đặt cố định  $70^\circ\text{C}$  và giá trị nhiệt độ sấy được ghi bằng thiết bị PNTECH DDC-C46 tại 12 vị trí, bố trí dọc theo chiều dài máy sấy để kiểm soát nhiệt độ trong quá trình sấy thực nghiệm.

b) **Vận tốc tác nhân sấy  $V_g$  (m/s):** Vận tốc tác nhân  $V_g$  là thông số phản ánh tính đặc thù của kỹ thuật sấy tầng sôi (yêu cầu có áp suất đủ lớn để nâng được lớp hạt ở trạng thái lơ lửng, nhưng phải giới hạn không

làm thổi hạt đường RS bay ra khỏi buồng lắng hạt[5]. Vận tốc tác nhân sấy được đo tại 9 vị trí cách đều nhau trên mặt cắt ngang của lớp hạt.

**c) Kích thước hạt sấy  $d_p$  (mm)**

Kích thước hạt sấy là thông số ảnh hưởng đến chất lượng lớp sôi [11][5]. Kích thước hạt cũng ảnh hưởng đến trở lực của dòng khí qua lớp hạt, nếu hạt có kích thước càng bé thì quá trình sôi càng khó, trở lực qua lớp hạt lớn, ngược lại, hạt càng lớn thì yêu cầu vận tốc cấp khí tạo lớp sôi càng lớn [11]. Nhằm có cơ sở nghiên cứu về ảnh hưởng của tần số xung khí sấy khi sấy đường RS nên trong nghiên cứu này ta lựa chọn đường kính trung bình của hạt  $d_p = 0,8\text{mm}$  thông qua phương pháp phân loại qua sàng rây[15]

**d) Chiều dày lớp hạt trợ sôi  $H_0$  (mm)**

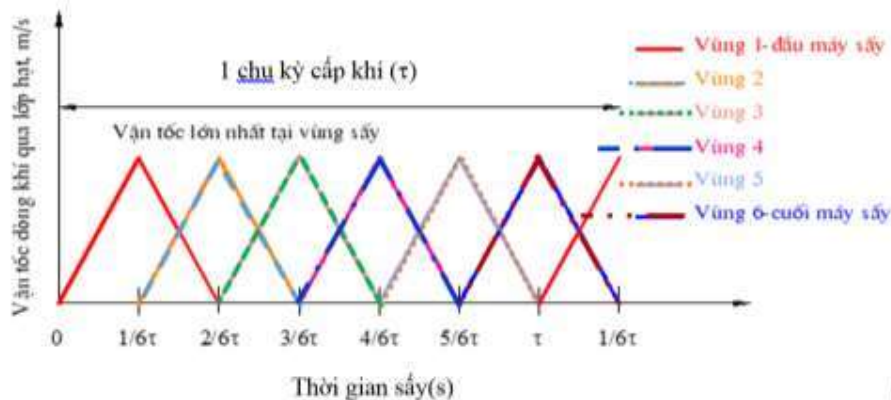
Do đường RS cũng có đặc tính kết khối trong môi trường tự nhiên và khi cấp nhiệt [16],[17], nên trước khi sấy thực nghiệm, bố trí sẵn một lớp hạt trợ sôi ban đầu giống như kỹ thuật sấy muối tinh, được trình bày trong [5]. Thông qua kết quả nghiên cứu thực nghiệm sơ bộ cho thấy chiều dày lớp hạt sấy cấp vào buồng sấy được xác định bằng chính chiều dày lớp hạt đường RS làm lớp đệm trợ sôi ngay tại thời điểm bắt đầu khởi động quá trình sấy[5].

**e) Tần số cấp khí kiểu xung  $f$  (Hz):** Cấp khí kiểu xung thể hiện sự khác biệt giữa sấy lớp hạt sôi thông thường và lớp hạt sôi cấp khí kiểu xung[1],[15]. Tần số cấp khí xung được thay đổi theo số lần đóng mở của các van bướm cấp khí vào buồng sấy và được điều chỉnh bằng cách thay đổi số vòng quay của động cơ điện truyền động cho van phân phối khí thông qua một bộ biến tần. Tần số cấp khí kiểu xung được xác

định bằng công thức tính

$$f = \frac{1}{\tau_f} \quad (\text{Hz}) \quad (1)$$

Ví dụ tần số xung khí là  $f = 0,5\text{Hz}$ , có nghĩa là cứ sau mỗi 2 giây, dòng khí nóng sẽ được cấp trở lại vị trí cũ. Mô hình thí nghiệm đang sử dụng có 6 vị trí cấp khí thì chu kỳ cấp khí sẽ được biểu diễn trên hình 2 như sau:



Hình 2. Mô tả chu kỳ cấp khí kiểu xung trên mô hình sấy thực nghiệm tại hình 1.

Trong thực nghiệm này, tần số xung khí được điều chỉnh phạm vi từ 0,1 đến 0,9 với khoảng biến thiên  $\Delta f = 0,2$

**2.4.2. Xác định các hàm mục tiêu**

Có 4 hàm tiêu được xác định trong sấy đường RS gồm: độ ẩm sản phẩm ( $M_2, \%$ ), tỷ lệ thu hồi chính phẩm ( $\eta, \%$ ), tiêu hao điện năng riêng ( $N, \text{Wh/kg}$  sản phẩm) và tiêu hao nhiệt lượng riêng ( $q, \text{kJ/kg}$  sản phẩm). Những hàm mục tiêu này chịu ảnh hưởng của các thông số: nhiệt độ sấy ( $t_g$ ), tần số cấp khí kiểu xung khí sấy ( $f$ ), vận tốc tác nhân sấy ( $v_g$ ), đường kính trung bình của hạt ( $d_p$ ) và chiều cao lớp hạt trợ sôi ban đầu ( $H_0$ ).

**a) Chất lượng sấy:** Chất lượng sản phẩm đường RS trong nghiên cứu này được đánh giá qua các chỉ tiêu độ ẩm  $M_2$  (phần màu sắc của đường, thành phần vi lượng sẽ không được đề cập trong bài báo này). Độ ẩm sản phẩm  $M_2$  (%) được mã hóa  $Y_1$  (%). Giá trị độ ẩm sản phẩm này được đối chiếu theo tiêu chuẩn TCVN 6958:

2001 trong tài liệu [3]. Độ ẩm sản phẩm được xác định theo giá trị trung bình khi lấy 6 mẫu ngẫu nhiên tại cửa ra của máy sấy.

$$Y_1 = \frac{M_{10} + M_{20} + M_{30} + M_{40} + M_{50} + M_{60}}{6}, \% \quad (2)$$

Trong đó:  $M_{10}, M_{20}, M_{30}, M_{40}, M_{50}, M_{60}$  lần lượt là độ ẩm trung bình của mỗi mẫu được lấy theo thời gian (10, 20, 30, 40, 50 và 60 phút).

**b) Tỷ lệ thu hồi chính phẩm ( $\eta_1$ ):** Sản phẩm sấy gồm hai loại, loại chính phẩm ký hiệu ( $G_2$ ) được thu hồi ngay tại cửa ra buồng sấy, loại thứ 2 là bụi đường bay qua buồng phân ly phía trên buồng sấy, được thu hồi trong cyclone. Trong nghiên cứu này chỉ đề cập đến loại chính phẩm  $G_2$ , giá trị này được đối chiếu với tổng thu hồi sản phẩm lý thuyết (nghĩa là khối lượng đường RS sau khi đã loại bỏ ẩm trong nguyên liệu đến độ ẩm tiêu chuẩn) được mã hoá  $Y_2$  (%) và tính theo

$$Y_2 = \frac{G_2}{G_{2lt}} 100\% \quad (3)$$

Trong đó:  $G_2$ - khối lượng sản phẩm thu được thực tế (kg/h);  $G_{2lt}$ -khối lượng sản phẩm lý thuyết (kg/h)  
 Khối lượng sản phẩm lý thuyết ( $G_{2lt}$ ) được tính theo CT 4

$$G_{2lt} = G_1 \frac{100 - M_1}{100 - M_2} = 20 \frac{100 - 1,5}{100 - 0,05} = 19,7 \text{ kg/h} \quad (4)$$

Tỷ lệ thu hồi chính phẩm là thông số để đánh giá hiệu suất thực tế của máy sấy. Đối với máy sấy tầng sôi có sử dụng lớp đệm trợ sôi ban đầu thì tỷ lệ này không vượt quá 100% [5] do vậy khi vật liệu ra khỏi máy sấy quá nhiều thì lớp đệm trợ sôi bị phá vỡ và chế độ sôi bị dừng lại[5]

**c) Chi phí điện năng riêng ( $N_j$ ):** Tiêu thụ điện năng riêng là tiêu thụ điện dùng để sấy được 1kg sản phẩm đạt độ ẩm tiêu chuẩn[3] Tiêu hao điện sẽ gồm toàn bộ tiêu thụ điện của quạt cấp và các động cơ lắp theo mô hình thí nghiệm sấy, được mã hoá  $Y_3$ , đơn vị Wh/kg sản phẩm. Tổng điện năng tiêu thụ cho các thiết bị

sẽ được đo bằng đồng hồ điện 3 pha và được xác định theo  $Y_3 = \frac{A}{G_2}$  (5)

Trong đó:  $A$  -tổng điện năng tiêu thụ của quạt và các động cơ, Wh;

$G_2$  – khối lượng sản phẩm thu được thực tế, kg/h;

**d) Tiêu hao nhiệt lượng riêng ( $q$ ):** Nhiệt lượng sử dụng để sấy được 1kg sản phẩm đạt độ ẩm tiêu chuẩn[3] được mã hoá  $Y_4$ , có đơn vị kJ/kg sản phẩm (trong đó có tính đến tổn thất nhiệt). Tổng nhiệt lượng cung cấp cho bộ gia nhiệt được quy đổi từ giá trị điện năng tiêu thụ thực tế cho bộ điện trở gia nhiệt (điện năng tiêu thụ của điện trở sẽ được đo bằng đồng hồ điện 3 pha EMIC loại gián tiếp.

Tiêu hao nhiệt lượng riêng được xác định  $q = \frac{Q}{G_2}$  (6)

Trong đó:  $G_2$  – khối lượng sản phẩm thu được thực tế, kg/h;

$Q$ - tổng nhiệt lượng cung cấp thông qua bộ gia nhiệt điện trở, kJ;

Để xác định được tổng nhiệt năng tiêu thụ, 01 đồng hồ điện 3 pha loại gián tiếp, được lắp riêng để xác định điện năng tiêu thụ cho các thanh điện trở và qua đó quy đổi về giá trị nhiệt năng. Với hệ số công suất của điện trở  $\cos\varphi = 1$  thì  $Q = 3600 \cdot A_1$  (kJ).

Trong đó:  $A_1$  là tổng điện năng tiêu thụ bởi các thanh điện trở (kWh).

**2.5. Bố trí thí nghiệm :** Các thông số được bố trí cố định bao gồm: Độ ẩm nguyên liệu (tính theo cơ sở ướt)  $M_1 = 1,5^{\pm 0,2\%}$ ; Kích thước hạt sấy trung bình  $d_p = 0,8\text{mm}$ ; Chiều dày lớp đệm trợ sôi  $H_0 = 65\text{mm}$ [5]; nhiệt độ tác nhân sấy  $t_g = 70^\circ\text{C}$ ; Vận tốc tác nhân sấy được đặt mức 2m/s, mức năng suất cấp vào mô hình sấy  $0,33^{\pm 0,2}$  kg /phút (tương ứng theo năng suất thực nghiệm 20kg/giờ); độ ẩm sản phẩm ( $M_2$ ) yêu cầu đạt 0,05% (theo TCVN 6958: 2001). Thời gian lấy mẫu sau mỗi (10, 20, 30, 40, 50 và 60 phút)[6]

### 3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

#### 3.1 Kết quả thực nghiệm

Thực hiện 05 thí nghiệm theo dải tần số từ 0,1 đến 0,9 với khoảng  $\Delta f = 0,2$ , nhằm xác định ảnh hưởng của tần số cấp khí kiểu xung khí đến các bốn hàm mục tiêu, kết quả thực nghiệm trình bày tại bảng 3

Bảng 3. Kết quả thực nghiệm xác định ảnh hưởng của tần số cấp khí kiểu xung đến 4 hàm mục tiêu

TN	Thông số công nghệ				Hàm mục tiêu			
	$t$ (°C)	$V$ (m/s)	$f$ (Hz)	$d_h$ ( $\mu\text{m}$ )	$Y_1$ (%)	$Y_2$ (%)	$Y_3$ (Wh/kgSP)	$Y_4$ (kJ/kgSP)
1	70	2	0,1	800	0,131	45,69	428	1888
2			0,3		0,071	83,76	221	1019
3			0,5		0,06	88,83	211	1008
4			0,7		0,055	95	195	903
5			0,9		0,101	72,08	278	1301

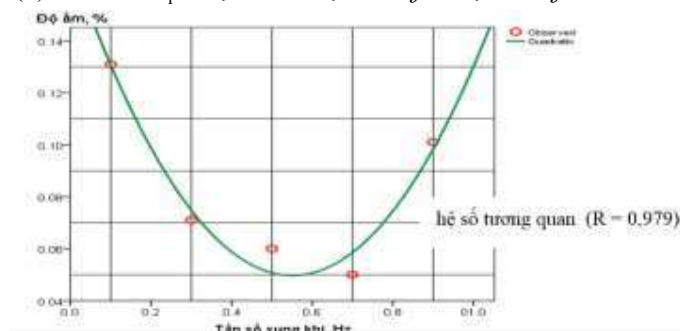
Sử dụng phần mềm SPSS xử lý số liệu tại bảng 3 và tiến hành đánh giá kết quả thực nghiệm như sau:

### 3.2 Phân tích và đánh giá ảnh hưởng của tần số cấp khí kiểu xung đến 05 hàm mục tiêu

#### 3.2.1 Xác định ảnh hưởng của tần số cấp khí kiểu xung đến độ ẩm sản phẩm sấy

Căn cứ kết quả thực nghiệm và xử lý số liệu tại bảng 3 ta thiết lập được đồ thị tương quan ảnh hưởng của tần số cấp khí kiểu xung đến độ ẩm sản phẩm được biểu diễn hình 3 và thiết lập được phương trình hồi quy theo phương trình (7)

$$Y_1 = 0,1705 - 0,4387.f + 0,3982.f^2 \quad (7)$$

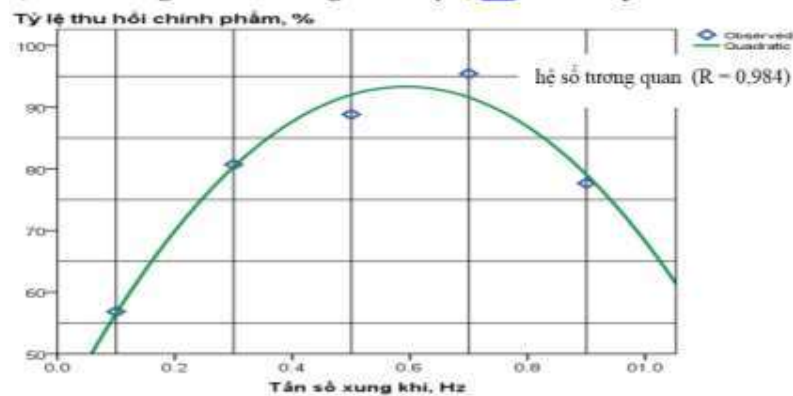


Hình 3 Ảnh hưởng của tần số xung khí đến độ ẩm sản phẩm

Rút ra được một số nhận xét như sau:

- Ảnh hưởng của tần số xung khí đến độ ẩm sản phẩm tuân theo quy luật hàm bậc 2
- Tần số xung khí được xác định bằng nghịch đảo của chu kỳ cấp xung khí cho từng vùng sấy, nghĩa là với tần số xung khí thấp, thời gian để bắt đầu lặp lại một chu kỳ cấp khí sẽ dài hơn. Khi đó, với độ ẩm bề mặt lớn thì các hạt đường dễ bị kết dính lại với nhau gây cản trở cho quá trình sôi, dẫn đến độ ẩm sản phẩm không đạt yêu cầu.
- Với tần số cấp xung khí cao thì thời gian lặp lại chu kỳ cấp khí sẽ ngắn hơn nên các hạt đường bị cuốn ra ngoài nhanh hơn, kết quả là độ ẩm sản phẩm cũng còn khá cao.
- Tần số xung khí từ 0,5Hz – 0,7Hz, tương ứng với chu kỳ cấp khí đạt từ 2s – 1,4s thì cho sản phẩm sấy có độ ẩm tốt nhất.

#### 3.2.2 Xác định ảnh hưởng của tần số xung khí đến tỷ lệ thu hồi chính phẩm



Hình 4. Ảnh hưởng của tần số xung khí đến tỷ lệ thu hồi chính phẩm

Kết quả xử lý số liệu thực nghiệm tại bảng 3 ta thiết lập được phương trình hồi quy (Pt 8)

$$Y_2 = 40,047 + 179,563.f - 151,393.f^2 \quad (8)$$

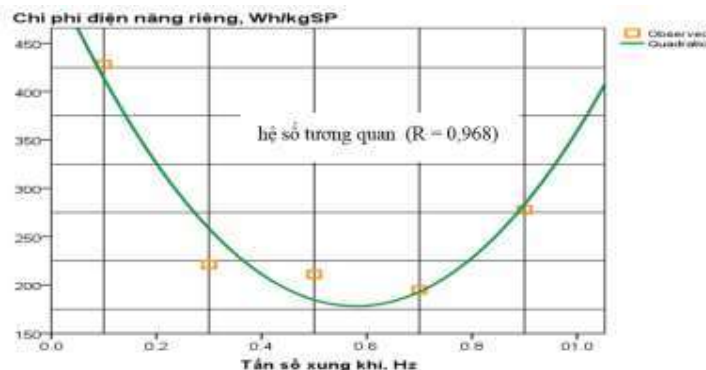
và xây dựng được đồ thị quan hệ tương quan tỷ lệ thu hồi (hay hiệu suất thu hồi sản phẩm) như hình 4 và có một số nhận xét được rút ra như sau:

- Ảnh hưởng của tần số xung khí đến tỷ lệ thu hồi chính phẩm theo quy luật hàm bậc 2
- Với các mức tần số xung khí thấp, chu kỳ cấp khí lặp lại lâu hơn nên các hạt đường với ẩm bề mặt cao sẽ bị kết dính lại với nhau tạo thành hạt đường có kích thước lớn hơn nên chế độ sôi bị phá vỡ làm giảm lượng sản phẩm thu được ở cửa ra của máy sấy.
- Ngược lại, ở tần số >0,7Hz,, giai đoạn đầu các hạt bị cuốn nhanh ra ngoài làm giảm chiều dày lớp đệm trợ sôi, khi đó đến giai đoạn sau, các hạt đường ẩm dễ bị kết dính lại với nhau (do lớp đệm trợ sôi không đạt yêu cầu). Kết quả là tổng lượng sản phẩm thu được trong quá trình sấy giảm đi so với năng suất thiết kế.

### 3.2.3. Xác định ảnh hưởng của tần số xung khí đến chi phí điện năng riêng

Theo kết quả thực nghiệm thu được tại bảng 3 ta thiết lập được đồ thị quan hệ tương quan giữa chi phí điện năng riêng với tần số cấp khí kiểu xung như hình 5 và xây dựng được phương trình hồi quy quan hệ tương quan giữa chúng theo (PT9) và rút ra một số nhận xét như sau:

$$Y_3 = 522,35 - 1188.f + 1025.f^2 \quad (9)$$



Hình 5. Ảnh hưởng của tần số xung khí đến chi phí điện năng riêng

Cùng một số nhận xét như sau:

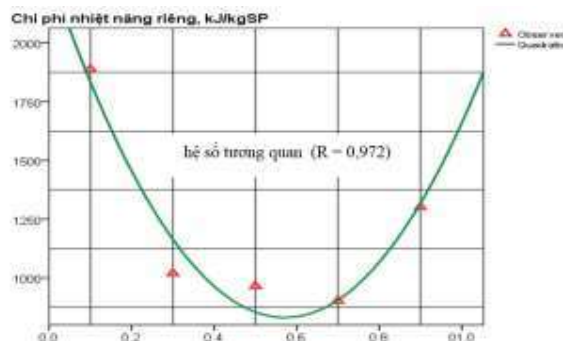
- Ảnh hưởng của tần số xung khí đến chi phí điện năng riêng theo quy luật hàm bậc 2.
- Kết quả thực nghiệm cho thấy ở tần số xung khí thấp nhất (0,1Hz) và cao nhất (0,9Hz) thì chi phí điện năng riêng cao hơn do lượng sản phẩm thu hồi được thấp.

- Ngược lại ở các mức tần số 0,3Hz; 0,5Hz; 0,7Hz thì chi phí không chênh lệch nhiều. Nguyên nhân là do tổng lượng điện năng tiêu hao cho động cơ tạo xung khí không lớn, do đó khi tăng hay giảm tốc độ quay của đĩa cấp khí tạo xung thì lượng điện thay đổi không đáng kể, khi đó chi phí điện năng riêng phụ thuộc nhiều vào lượng chính phẩm thu được.

*d. Ảnh hưởng của tần số xung khí đến chi phí nhiệt năng riêng*

Theo kết quả xử lý số liệu tại bảng 3 ta xây dựng được phương trình hồi quy quan hệ giữa chi phí tiêu hao nhiệt lượng riêng với tần số cấp khí kiểu xung theo (PT10) và thiết lập được đồ thị quan hệ giữa chúng như hình 6

$$Y_4 = 2304,52 - 5155,71.f + 4510,71.f^2 \quad (10)$$



Hình 6. Ảnh hưởng của tần số xung khí đến chi phí nhiệt năng riêng

Rút ra một số nhận xét như sau:

- Ảnh hưởng của tần số xung khí đến chi phí nhiệt năng riêng là rất rõ ràng, theo quy luật hàm bậc 2 với hệ số tương quan lớn ( $R = 0,972$ ), tiêu chuẩn Student của các hệ số đều đáp ứng.
- Tương tự như những nhận xét với chi phí điện năng riêng, sự thay đổi tần số xung khí không làm thay đổi vận tốc hay nhiệt độ sấy, do vậy tổng nhiệt lượng cung cấp cho quá trình sấy là không đổi. Do vậy, chi phí nhiệt năng riêng cũng phụ thuộc vào lượng chính phẩm thu được, nghĩa là với các mức tần số quá thấp hoặc quá cao thì chi phí nhiệt năng riêng luôn cao hơn ở các mức tần số trung bình.

#### 4. KẾT LUẬN

Tần số xung khí từ 0,5Hz – 0,7Hz, tương ứng với chu kỳ cấp khí đạt từ 2s – 1,4s thì cho sản phẩm sấy có độ ẩm tốt nhất. Nằm ngoài miền này khi tần số xung khí sấy tăng hay giảm thì đều làm cho độ ẩm của đường tăng lên.

Nhiệt độ tác nhân sấy  $t_g = 70^\circ\text{C}$  cùng với chiều cao lớp hạt trợ sôi tối thiểu  $H_0 = 65\text{mm}$ , đường kính hạt sấy  $d_p = 0,8\text{mm}$ , vận tốc nhân sấy  $v_g = 2\text{m/s}$  và tần số cấp xung khí 0,6 Hz cho chất lượng hạt sấy đạt độ ẩm tiêu chuẩn  $M_2 = 0,055\%$ ; Chi phí điện năng riêng  $N = 203,6\text{Wh/kg}$  sản phẩm, Chi phí nhiệt năng riêng  $q = 955\text{kJ/kg}$  sản phẩm và tỷ lệ thu hồi chính phẩm  $\eta = 91\%$ .

Khi sấy ở tần số thấp hơn hay cao hơn thì độ ẩm sản phẩm, chi phí điện năng và nhiệt năng đều tăng lên. Do vậy, tần số xung khí sấy ở mức 0,6 Hz được lựa chọn phù hợp cho quá trình sấy đường RS và được chọn trong các nghiên cứu thực nghiệm đa yếu tố.

#### 5. TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Ambrosio-Ugri, M. C. B., Taranto, O. P (2007) Drying in the rotating-pulsed fluidized bed. Brazilian Journal of Chemical Engineering, 24(1), pages 95-100.
- [2]. Baikow, V. E (2013) Manufacture and refining of raw cane sugar. Elsevier, 2013, pages 437-451
- [3]. Bộ khoa học và Công nghệ (2001) TCVN 6961: 2001 tiêu chuẩn TCVN về đường thô, 2001.
- [4]. Bộ khoa học và Công nghệ (2001) TCVN 6958: 2001 Tiêu chuẩn đường tinh luyện, 2001.



- [5]. Bùi Trung Thành (2012) Nghiên cứu và thực nghiệm sử dụng lớp muối khô làm lớp đệm trợ sôi trong sấy tầng sôi. Tạp chí Năng lượng nhiệt, Số 108 trang 12-20.
- [6]. Bùi Minh Trí(2005), Xác xuất thống kê và quy hoạch thực nghiệm, Nhà xuất bản khoa học và kỹ thuật, trang 64-82.
- [7]. Chung Chi Chou (2000), Handbook of Sugar Refining A Manual for the Design and Operation of Sugar Refining Facilities, Sugar Processing Research Institute. Inc. New Orleans, Louisiana, John Wiley & Sons. INC, Printed in the United States of America, Pages 35-43 and pages 251-264
- [8]. Eyerusalem Birru (2016), Sugar Cane Industry Overview And Energy Efficiency Considerations, Literature Survey document (Report no. 01/2016) Updated March 2016 KTH School of Industrial Engineering and Management Department of Energy Technology, Division of Heat and Power Technology SE-100 44 STOCKHOLM, Page 20-25.
- [9]. D. M. Meadows (1993) Somewhat dry ... a new look at the conditioning of refined sugar, Proceedings of The South African Sugar Technologists' Association — June 1993, pages 105-112
- [10]. Gawrzynski Z., Glaser R., Kudra T (1999) Drying of powdery materials in a pulsed fluid bed dryer. Drying Technology, Pages 1523-1532
- [11]. Geldart D (1972) The effect of particle size and size distribution on the behaviour of gas-fluidized beds powder, Techno 6 pages 201-215
- [12]. G. F. MANN (1983), raw sugar drying using a fluidized bed system at Sezela, Proceedings of The South African Sugar Technologists' Association — June 1983, Page 56-59
- [13]. J.R. FitzGerald and K. Taylor and G.W. Bestwick (1980), The performance of a fluidized bed refined sugar drier, Proceedings of The South African Sugar Technologists' Association — June 1980
- [14]. Marcello Nitz, Osvaldir P. Taranto (2009) Drying of a porous material in a pulsed fluid bed dryer: the influences of temperature, frequency of pulsation and air flow rate, Drying technology, p212-219
- [15]. Howard J.R (1989) Fluidized bed Technology, principles and application, Publisher Taylor & Francis Group, pages 15-23
- [16]. Mohamed MATHLOUTHI (2014) the quality of sugar crystals and their storage stability, Conference on Technical progress in the sugar industry organized by Polish Sugar Technicians Association on 12 and 13 May 2014 in Zakopane, France, pages 201-210
- [17]. Mohamed. Mathlouthi and Bruno Rogé (2004), caking of white sugar and how to prevent it, Association Andrew VanHook, Maison des Agriculteurs, 2 Rue Léon Patoux F-51664 Reims Cedex 2, France, Proc S Afr Sug Technol Ass, pages 495-496
- [18]. Somkiat Prachayawarakorn, Warunee Tia, Korakot Poopaiboon, Somchart Soponronnarit (2005) Comparison of performance of pulsed and conventional fluidized bed dryer. Journal of Stored Products Research, 41(5), p479-497, 2005.

*Ngày nhận bài: 18/12/2019*

*Ngày chấp nhận đăng: 24/03/2020*