

NGHIÊN CỨU THỰC NGHIỆM XÁC ĐỊNH ẢNH HƯỞNG CỦA VẬN TỐC TÁC NHÂN SẤY ĐẾN SẤY ĐƯỜNG RS TRÊN MÔ HÌNH SẤY TẦNG SÔI LIÊN TỤC CẤP KHÍ KIỂU XUNG

BÙI TRUNG THÀNH, PHẠM QUANG PHÚ

Khoa Công nghệ Nhiệt lạnh, Trường Đại học Công nghiệp Thành phố Hồ Chí Minh

buitrungthanh@iuh.edu.vn, phamquangphu@iuh.edu.vn

Tóm tắt. Nghiên cứu sấy đường RS được thực hiện bằng thực nghiệm đơn yếu tố trên mô hình sấy tầng sôi cấp khí kiểu xung có năng suất 20kg/giờ. Thực nghiệm được thực hiện trong điều kiện vận tốc tác nhân được điều chỉnh $v_g=1-3\text{m/s}$ trong khí 4 thông số công nghệ được bố trí cố định gồm: chiều cao lớp hạt trợ sôi $H_0 = 65\text{mm}$, đường kính hạt $d_p = 0,8\text{mm}$, nhiệt độ tác nhân sấy $t_g = 70^\circ\text{C}$; tần số cấp khí xung $f = 0,5\text{Hz}$. Kết quả thực nghiệm cho độ ẩm sản phẩm $M_2=0,06\%$ (phù hợp theo TCVN 6958: 2001), tiêu hao nhiệt lượng riêng $q=1008\text{ kJ/kg}$ sản phẩm; tiêu hao điện năng riêng $N=194\text{Wh/kg}$ sản phẩm và tỷ lệ thu hồi sản phẩm $\eta = 88,8\%$. Dựa trên kết quả phân tích thực nghiệm đơn yếu tố về mối quan hệ tương quan giữa 4 thông số công nghệ (t, H_0, d_p, f) ảnh hưởng đến 4 hàm mục tiêu (M_2, q, N, η), của chế độ sấy tầng sôi xung khí với hạt đường RS, tác giả đã xác định được chế độ sấy hợp lý gồm nhiệt độ sấy $t_g = 75^\circ\text{C}$, tần số xung khí $f=0,6\text{ Hz}$, $d_p = 0,4\text{ mm}$ thì vận tốc tác nhân là $2,2\text{ m/s}$.

Từ khóa. Đường RS, máy sấy tầng sôi liên tục cấp khí kiểu xung, thực nghiệm đơn yếu tố, hàm mục tiêu của quá trình sấy đường RS.

EXPERIMENTAL RESEARCHING ON INFLUENCE DETERMINATION OF HOT AIR VELOCITY TO THE REFINED SUGAR DRYING ON THE MODEL OF PULSED COUNTINUOUS FLUIDIZED BED

Abstract. Experimental research on refined sugar (RS) drying were conducted on the single factor experiments in a model of pulsed continuous fluidized bed which its capacity was 20kg/h. The experiment was performed in conditions such as the 04 (four) fixed technological parameters during experiments that including the height of basical dried layer (H_0) is 65mm, the hot air temperature(t_g) is 70°C , pulsed frequency (f) is 0,5Hz and the mean diameter of RS (d_p) is 0,8mm while the range of hot air velocity was adjusted from $1 \div 3\text{m/s}$. The experimental results were obtained the moisture content of finished product was 0,06% (the dried grains quality met the TCVN 6958:2001), the specific heat consumption was 1008kJ/kg finished product, the specific electrical consumption was 194 Wh/ kg finished product and the efficiency of finished product was 88%. It is based on the results of the single factors of the correlation relationship between the four technological parameters(t, H_0, d_p, f) which affects to the four objective functions(M_2, q, N, η) of pulsed fluidized bed drying for the RS sugar. The author established a suitable drying regime such as the temperature of hot air was 75°C , pulse frequency was 0.6 Hz, mean diameter of RS grain was 0,4 mm and hot air velocity was 2.2 m/s.

Keywords. sugar drying, pulsed continuous fluidized bed, pulse frequency, single factor experiments, drying regimes, moisture content

1 ĐẶT VẤN ĐỀ

Đường RS được hình thành từ quá trình kết tinh, độ ẩm sau ly tâm từ 1% – 2% [1]. Nếu ẩm trong đường không được loại bỏ thì đường sẽ bị nhiễm khuẩn, màu sẽ không sáng và bị vón thành từng cục. Theo tài liệu [2] độ ẩm của đường thô để bảo quản cần nhỏ hơn 0,2% và độ ẩm sản phẩm đường tinh luyện không lớn hơn 0,05% [3]. Do vậy, sấy đường RS sau ly tâm là rất cần thiết vừa để vừa đảm bảo về mặt chất lượng vừa cho phép bảo quản đường được lâu dài.

Từ trước đến nay đường RS thường được sấy bằng máy sấy thùng quay, gần đây được sấy bằng các máy sấy tầng sôi kiểu rung (vibration dryer) đã cho phép nâng cao hơn về chất lượng [6]. Giải pháp sấy vật liệu rời trên máy sấy tầng sôi cho nhiều ưu điểm vượt trội về mặt chất lượng so với các loại máy sấy khác, tuy nhiên so với các máy sấy khác thì sấy tầng sôi tiêu hao điện năng cao hơn do vận tốc tác nhân sấy và áp suất tác nhân sấy cao hơn các máy sấy thông thường.

Để giải quyết vấn đề này, Gawrzynski và cộng sự (1999)[7] đã đề xuất một phương pháp sấy tầng sôi xung khí, còn gọi là tầng sôi cấp khí kiểu xung (pulsed fluidized bed - PFB). Các nghiên cứu được công bố trong nguồn [9] [14] cho thấy phương pháp sấy này cho kết quả khả quan về mặt tiết kiệm năng lượng hơn

Theo nguồn [7], [9] [16], [17], dải tần số xung khí phù hợp để sấy tầng sôi xung khí dạng mẻ là từ 5-15Hz, nhưng theo [18], [19] thì tần số xung khí đối với tầng sôi xung khí dạng liên tục thấp hơn 1Hz sẽ tạo được chế độ sôi tốt hơn. Như vậy, đối với mỗi loại vật liệu khác nhau cần nghiên cứu xác định dải tần số xung khí hoạt động hợp lý. Trên cơ sở đó, đối với sấy đường RS kiểu tầng sôi xung khí liên tục, dải tần số từ 0,01 – 1 Hz được lựa chọn làm cơ sở nghiên cứu thực nghiệm đơn yếu tố với mức cơ sở là 0,5Hz.

Ảnh hưởng của nhiệt độ sấy, vận tốc tác nhân và tần số xung khí đến tổn thất áp suất, thời gian sấy đã được nghiên cứu trong tài liệu [10]. Somkiat Prachayawarakorn và cộng sự trong tài liệu [14] 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. Đối với sấy đường, nhiệt độ sấy cao ảnh hưởng đến tiêu thụ nhiệt năng, nhưng còn ảnh hưởng đến màu sắc do bị caramel hóa, làm giảm mỹ quan và chất lượng sản phẩm. Vận tốc tác nhân sấy là một trong số các yếu tố quan trọng của kỹ thuật sấy, vận tốc tác nhân sấy ảnh hưởng đến chất lượng hạt sôi, thời gian sấy và chi phí sấy.

Nội dung bài báo đề cập đến nghiên cứu thực nghiệm xác định ảnh hưởng của miền vận tốc tác nhân sấy khi sấy đường RS trong lớp sôi liên tục cấp khí kiểu xung đến chất lượng 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

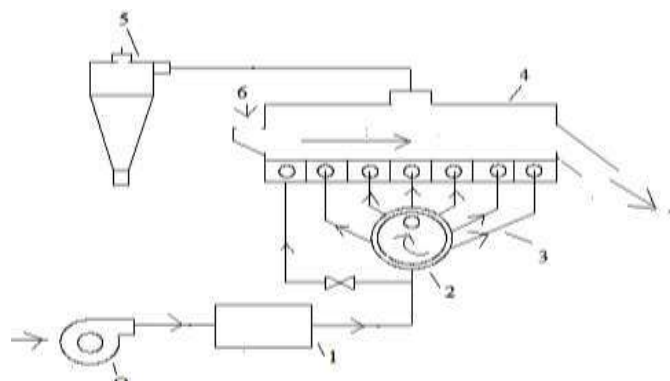
2.1 Vật liệu và mô hình thí nghiệm

Tác giả nghiên cứu sấy đường RS bằng phương pháp sấy tầng sôi liên tục cấp khí kiểu xung nhằm ứng dụng cho các dây chuyền sản xuất đường RS công nghiệp tại Việt Nam nên độ ẩm đường RS nguyên liệu được khảo sát có độ ẩm trung bình $M_1 = 1,5\% \pm 0,2$, 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 gồm có bộ cấp liệu rung cung cấp ổn định đường nguyên liệu vào buồng sấy có năng suất 0,33 kg/phút. Một bộ điện trở gia nhiệt tác nhân sấy được lắp bộ điều khiển nhiệt độ, 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 phạm vi $\varphi_a = 70 \div \%$, 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 nguồn [4] có cấp hạt đa phân tán phạm vi từ 0,5- 1mm cùng với độ ẩm 0,05%. Lưu trình cấp tác nhân sấy và hoạt động sấy được trình bày trên hình 1.

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 ³ /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 × 300mm × 350mm Vật liệu chế tạo: SUS304
5	Buồng lắng	Kích thước tổng thể (DxRxC): 1750mm × 450mm × 350mm Vật liệu chế tạo: SUS304



O. 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 xung khí phục vụ thí nghiệm

2.2 Dụng cụ thí nghiệm

Các thí nghiệm sấy đường RS được thực hiện trên mô hình máy sấy tầng sôi liên tục cấp khí kiểu xung theo hình 2, được đặt tại khoa công nghệ Nhiệt Lạnh, trường Đại học công nghiệp Tp.HCM. Không khí được gia nhiệt bằng bộ điện trở, nhiệt độ tác nhân sấy được điều khiển bằng bộ điều khiển Autonics TZN4M. Quạt cấp khí được lắp biến tần Hitachi X200 để điều khiển lưu lượng cấp vào buồng sấy. Động cơ điện dùng truyền động cho van cấp khí vào buồng sấy được lắp biến tần Schneider ATV312HU15M2 để điều khiển số vòng quay, nhằm điều chỉnh được tần số cấp xung khí vào buồng sấy. Độ ẩm của đường RS được đo bằng máy phân tích độ ẩm Axis AGS100, có sai số đo 0,01%, vận tốc tác nhân sấy được đo bằng thiết bị Extech SDL350 với sai số 0,01 m/s, đồng hồ điện 3 pha EMIC MV3E4 được sử dụng để xác định điện năng tiêu thụ. Ngoài ra còn có bộ điều khiển nhiệt độ Autonics TZN4M và bộ ghi PNTECH DDC-C46 được sử dụng để điều khiển và ghi dữ liệu nhiệt độ trong quá trình sấy phạm vi đo từ 0÷400°C và sai số 0,5°C.

2.3 Phương pháp nghiên cứu

▪ Giai đoạn thí nghiệm thăm dò

Tiền 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 [1],[5], 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 tại Việt Nam.

▪ Giai đoạn thực hiện các thí nghiệm

Phương pháp được áp dụng cho nghiên cứu này là cố định các yếu tố công nghệ đầu vào gồm: vận tốc tác nhân sấy (v_g , m/s), chiều cao lớp bột sôi ban đầu (H_0 , mm), tần số cấp khí kiểu xung (f , Hz) và đường kính trung bình hạt sấy (d_p , mm) ảnh hưởng đến các hàm mục tiêu của nghiên cứu thực nghiệm, trong khi yếu tố vận tốc tác nhân sấy (v_g , m/s) được điều chỉnh theo thực nghiệm xác định từ các thí nghiệm thăm dò trước đó để xác định miền ảnh hưởng của yếu tố vận tốc tới các hàm mục tiêu nghiên cứu.

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 (°C)

Qua các nguồn tài liệu về sấy đường RS trên thế giới, cùng ý kiến chuyên gia trong ngành đường và căn cứ theo tài liệu [5] và [8] cũng như sử dụng kết quả các thí nghiệm thăm dò cho thấy nhiệt độ sấy đường RS có thể biến thiên phạm vi từ $50^{\circ}\text{C} \div 90^{\circ}\text{C}$, trong thí nghiệm này ta chọn t_g cố định 70°C . Nhiệt độ sấy được điều khiển bằng thiết bị Autonics TZN4M và được ghi tự động bằng thiết bị PNTECH DDC-C46 tại 12 vị trí dọc theo chiều dài máy sấy.

b) Vận tốc tác nhân sấy v_g (m/s)

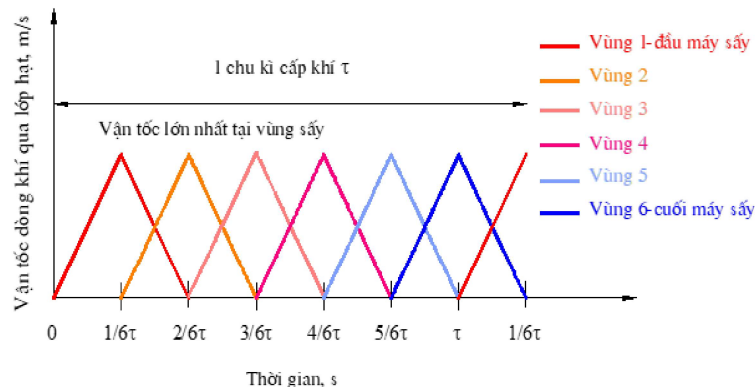
Vận tốc tác nhân sấy là thông số phản ánh tính đặc thù của kỹ thuật sấy tầng sôi. Vận tốc dòng khí được cấp thổi qua lớp hạt có lực đủ lớn để nâng được lớp hạt ở trạng thái lơ lửng, thắng được lực cản và trọng lực của hạt, nhưng phải giới hạn không làm thổi hạt đường RS bay ra khỏi buồng sấy [13]. Vận tốc tác nhân sấy được đo tại 9 vị trí cách đều nhau trên mặt cắt ngang của lớp hạt ở một buồng cấp khí bằng thiết bị Extech SDL350. Trong các thí nghiệm này, vận tốc tác nhân sấy được biến thiên ở mức $v_g = 1 - 3\text{m/s}$, khoảng biến thiên $\Delta v = 0,5\text{m/s}$

c) Tần số cấp khí kiểu xung f (Hz)

Cấp khí kiểu xung thể hiện sự khác biệt giữa sấy lớp hạt sôi cấp khí kiểu xung và tầng sôi cấp khí liên tục. Tần số cấp khí xung được thay đổi theo số lần đóng mở các van bướm cấp khí vào buồng sấy và được điều chỉnh bằng cách thay đổi số vòng quay của động cơ tạo xung nhờ biến tần Schneider ATV312HU15M2. Tần số cấp khí xung được ký hiệu là (f) . Trong các thí nghiệm này ta cho tần số cấp khí ở mức $f = 0,5\text{Hz}$. Nếu ta gọi τ_f (s) là thời gian để dòng khí cấp vào cùng một vị trí trên mặt cắt ngang của buồng sấy, khi đó tần số xung khí được xác định bằng:

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

Với 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. Như vậy với mô hình thí nghiệm đang sử dụng có 6 vị trí cấp khí thì chu kỳ cấp khí sẽ như sau:



Hình 2. Mô tả chu kỳ cấp xung khí trên mô hình sấy

d) Kích thước hạt sấy d_p (mm)

Kích thước hạt sấy là thông số ảnh hưởng đến vận tốc tác nhân sấy và chất lượng lớp sôi [7]. 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 [8], [13], trở lực qua lớp hạt lớn, ngược lại, hạt càng lớn thì yêu cầu vận tốc tác nhân sấy qua lớp hạt hóa sôi càng lớn, tổn thất áp suất đã làm tăng công suất quạt cấp khí ảnh hưởng đến đến tiêu thụ điện năng riêng. Nhằm có cơ sở nghiên cứu về ảnh hưởng của vận tốc tác nhân sấy khi sấy đường RS nên trong nghiên cứu này đã tìm cách phân loại kích thước hạt sấy trước khi đưa vào sấy, việc phân

loại được xác định bằng phương pháp sàng (rây) với các cỡ rây tiêu chuẩn (0,4, 0,6, 0,8, 1,0, 1,2 mm). Trong các thí nghiệm này, đường kính trung bình của hạt được xác định $d_p = 0,8\text{mm}$.

e) Chiều dày lớp hạt trợ sôi H_0 (mm)

Do đường RS cũng có đặc tính kết khối khi cấp nhiệt nên trước khi sấy, thí nghiệm đã bố trí sẵn một lớp hạt trợ sôi ban đầu giống như kỹ thuật sấy muối tinh, được trình bày trong tài liệu [4]. Thông qua kết quả nghiên cứu thực nghiệm sơ bộ đã 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[4]. Chiều dày lớp hạt trợ sôi trong thí nghiệm này được chọn ở mức $H_0 = 65\text{mm}$.

2.4.2 Xác định các hàm mục tiêu

Các hàm mục tiêu được xác định trong sấy đường RS gồm 4 chỉ tiêu: độ ẩm sản phẩm(%), tỷ lệ thu hồi chính phẩm(%), tiêu hao điện năng riêng (wh/kg sản phẩm) và tiêu hao nhiệt lượng riêng (kJ/kg sản phẩm). Những thông số này chịu ảnh hưởng của các thông số công nghệ: nhiệt độ sấy, vận tốc tác nhân sấy, tần số cấp khí kiểu xung, đường kính trung bình của hạt và chiều cao lớp hạt trợ sôi ban đầu.

a) Chất lượng sấy

Chất lượng sản phẩm đường RS được đánh giá qua các chỉ tiêu gồm: độ ẩm M_2 , màu sắc, thành phần vi lượng... Trong phạm vi nghiên cứu tác giả chọn độ ẩm M_2 (%) được mã hóa Y_1 (%) làm chỉ tiêu đánh giá chất lượng. Giá trị độ ẩm được đo bằng dụng cụ đo độ ẩm và được đối chiếu theo tiêu chuẩn TCVN 6958: 2001[3], và độ màu được đo thông qua máy đo độ màu Konica Minolta.

Độ ẩm sản phẩm được tính theo giá trị trung bình của 6 mẫu theo công thức:

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

Với $M_{10}, M_{20}, M_{30}, M_{40}, M_{50}, M_{60}$ 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 (η_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 thu hồi dưới đáy cyclone. Trong phần nghiên cứu này chỉ đề cập đến loại chính phẩm G_2 , giá trị này được đối chiếu với tổng sản phẩm lý thuyết (khối lượng đường RS sau khi loại bỏ ẩm trong nó đến độ ẩm tiêu chuẩn, được tính theo công thức (2), được mã hoá Y_2 (%).

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

Với: G_2 – khối lượng sản phẩm thu được thực tế (kg/h);

G_{2lt} – khối lượng sản phẩm theo lý thuyết (kg/h)

Khối lượng sản phẩm thu được theo lý thuyết (G_{2lt})

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

Tỷ lệ thu hồi chính phẩm là thông số mục tiêu để đánh giá năng 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% do khi vật liệu ra khỏi máy sấy quá nhiều thì lớp đệm khô trợ sôi bị phá vỡ và chế độ sôi bị dừng lại.

c) Chi phí điện năng riêng (Ni)

Tiêu thụ điện năng riêng là tiêu thụ điện dùng để sấy được 1kg sản phẩm đạt độ ẩm tiêu chuẩn. 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 EMIC MV3E4.

$$\text{Tiêu thụ điện năng riêng được xác định bằng công thức sau: } Y_3 = \frac{A}{G_2} \quad (5)$$

Trong đó: A - tổng điện năng tiêu thụ của quạt và các động cơ (Wh) được đo bằng đồng hồ điện 3 pha EMIC MV3E4.

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 trong đó có tính đến tổn thất nhiệt, được mã hoá Y_4 , đơn vị kJ/kg sản phẩm. 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 01 đồng hồ điện 3 pha EMIC loại gián tiếp).

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

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

Q - tổng nhiệt lượng cung cấp bởi bộ gia nhiệt điện trở, kJ. Để xác định được tổng nhiệt năng tiêu thụ, 01 đồng hồ điện 3 pha loại gián tiếp EMIC MV3E4 5A 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 $Q = 3600.A_1$ (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 cố định theo nguồn [15] bao gồm: Độ ẩm nguyên liệu (tính theo cơ sở ướt) cố định $M_1 = 1,5^{\pm 0,2\%}$; Kích thước hạt sấy trung bình $d_p = 0,8\text{mm}$; Chiều dày lớp đệm trợ sôi bố trí $H_0 = 65\text{mm}$; nhiệt độ tác nhân sấy $t_g = 70^\circ\text{C/s}$; mức năng suất cấp vào mô hình sấy $0,33^{\pm 0,2}$ kg /phút (năng suất 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).

3 KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

Đối với thực nghiệm xác định ảnh hưởng của miền vận tốc tác nhân sấy đến các hàm mục tiêu, 05 thí nghiệm đã được tiến hành và kết quả thực nghiệm được trình bày trong bảng 2

Bảng 2. Kết quả thực nghiệm đơn yếu tố xác định ảnh hưởng của vận tốc tác nhân đến các hàm mục tiêu

TN	Thông số công nghệ				Hàm mục tiêu			
	v_g (m/s)	t_g ($^\circ\text{C}$)	f (Hz)	d_p (μm)	Y_1 (%)	Y_2 (%)	Y_3 (Wh/kgSP)	Y_4 (kJ/kgSP)
1	1	70	0,5	800	0,212	56,85	176	620
2	1,5				0,111	67,01	177	802
3	2				0,06	88,83	194	1008
4	2,5				0,043	99,49	227	1152
5	3				0,04	88,83	300	1481

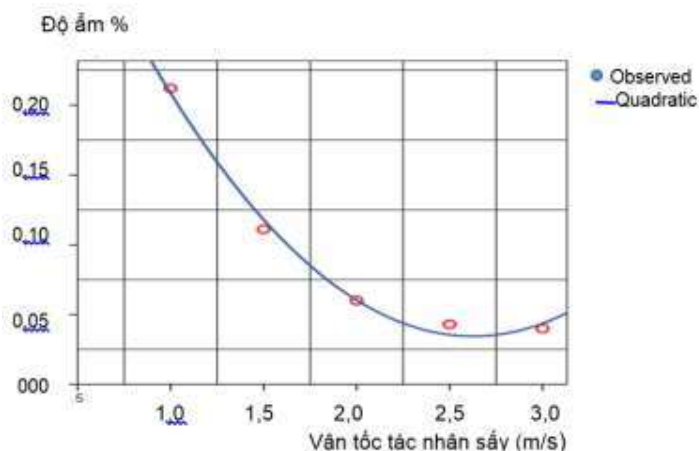
Sử dụng phần mềm SPSS phiên bản 22.0 [15] để xử lý và đánh giá các số liệu thực nghiệm cho các kết cùng với các nhận xét như sau:

3.1 Xác định ảnh hưởng của vận tốc sấy đến độ ẩm sản phẩm

Căn cứ kết quả xử lý số liệu thực nghiệm cho hàm mục tiêu độ ẩm sản phẩm cho thấy ảnh hưởng của vận tốc tác nhân sấy đến độ ẩm sản phẩm theo quy luật hàm bậc 2, trong đó hệ số ý nghĩa trong phân tích phương sai ($0,994 > 0,95$), hệ số tương quan ($R = 0,997$), mức ý nghĩa của các hệ số đều lớn hơn 0,95 (0,996; 0,990; 0,993), tiêu chuẩn Fisher (159,849) và các tiêu chuẩn Student của các hệ số (15,238; 9,913; 7,629) đều đáp ứng.

Phương trình hồi quy có dạng theo phương trình 7 và xây dựng được đồ thị quan hệ vận tốc sấy đến độ ẩm sản phẩm như hình 3

$$Y_1 = 0,4880 - 0,3453.v + 0,0657.v^2 \quad (7)$$



Hình 3. Ảnh hưởng của vận tốc tác nhân sấy đến độ ẩm sản phẩm

Kết quả rút ra các nhận xét như sau:

Vận tốc tác nhân sấy là thông số ảnh hưởng lớn nhất đến hệ số truyền nhiệt và truyền ẩm trong quá trình sấy đối lưu, đặc biệt là quá trình sấy tầng sôi. Do vậy, khi tăng vận tốc sẽ giúp quá trình hóa sôi (vật liệu giả lỏng – Fluidization) diễn ra mãnh liệt hơn, các hạt được hòa trộn tốt hơn nên độ ẩm sản phẩm giảm thấp hơn. Tuy nhiên, nếu tiếp tục tăng vận tốc (từ 2,5m/s lên 3m/s) thì độ ẩm gần như không được giảm nữa mà còn có xu hướng tăng lên (đường cong hướng lên ở giá trị vận tốc cao). Nguyên nhân là do khi tăng vận tốc sẽ làm các hạt bị cuốn theo nhiều hơn, gây phá vỡ lớp đệm trợ sôi, kết quả là độ ẩm trung bình của sản phẩm trong toàn bộ quá trình sẽ có xu hướng tăng lên[4].

Mặt khác, vận tốc tác nhân sấy cao sẽ làm tăng chi phí điện năng nên cần xét đến yếu tố này khi quyết định lựa chọn vận tốc làm việc phù hợp. Theo Wen Ching Yang, Trần Văn Phú [7, 55], vận tốc làm việc của quá trình sấy tầng sôi nên lựa chọn trong khoảng gấp (2÷3) lần vận tốc hóa sôi tối thiểu. Kết quả tính toán đã xác định vận tốc hóa sôi tối thiểu đối với hạt đường RS là 0,79m/s nên vận tốc làm việc phù hợp sẽ từ 1,57-2,36 m/s. Kết quả này phù hợp với thí nghiệm đơn yếu tố trên.

3.2 Xác định ảnh hưởng của vận tốc sấy đến tỷ lệ thu hồi chính phẩm

Căn cứ kết quả xử lý số liệu cho hàm mục tiêu tỷ lệ thu hồi chính phẩm cho thấy ảnh hưởng của vận tốc tác nhân sấy đến tỷ lệ thu hồi chính phẩm theo quy luật hàm S, với các mức ý nghĩa được thể hiện trong phân tích phương sai (0,996 > 0,95), hệ số tương quan (R = 0,979), cùng với mức ý nghĩa của các hệ số đều lớn hơn 0,95 (1,000; 0,996), trong khi tiêu chuẩn Fisher (69,532) và các tiêu chuẩn Student của các hệ số (81,643; 8,339) đều đáp ứng.

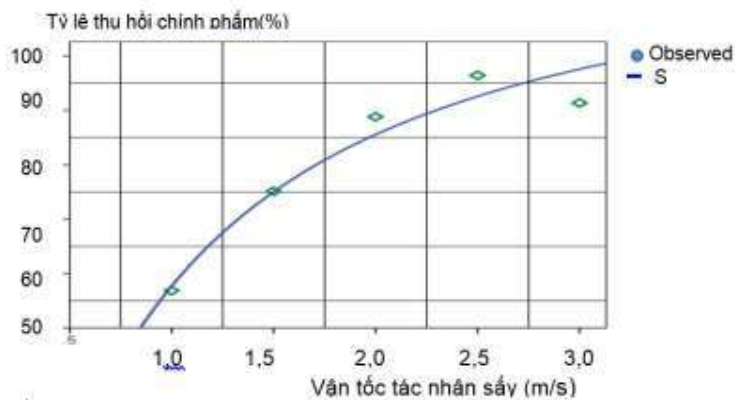
ta xây dựng được phương trình hồi quy (8)

$$\ln Y_2 = 4,844 - \frac{0,789}{v} \quad \text{hay} \quad Y_2 = e^{\left(4,844 - \frac{0,789}{v}\right)} \quad (8)$$

và thiết lập được đồ thị quan hệ vận tốc sấy đến tỷ lệ thu hồi chính phẩm(biểu diễn hình 5

Kết quả thực nghiệm rút ra nhận xét:

Vận tốc tác nhân sấy thấp sẽ làm giảm chế độ sôi, làm tăng lượng sản phẩm lưu lại trong buồng sấy, kết quả là lớp đệm trợ sôi tăng cao, gây cản trở quá trình dịch chuyển vật liệu ra ngoài nên năng suất thu hồi sản phẩm sấy không đạt yêu cầu. Ngoài ra, khi tăng vận tốc tác nhân sấy lên quá cao, chế độ sôi ban đầu diễn ra quá mãnh liệt nên cuốn theo một lượng hạt đường RS làm lớp đệm ra ngoài, ở cuối quá trình sấy tỷ lệ lớp đệm trợ sôi và hạt Rs ẩm đưa vào không đạt giá trị tương quan [4] nên vật liệu thu được ở đầu ra máy sấy thấp hơn. Tỷ lệ thu hồi chính phẩm đạt cao nhất ở vận tốc tác nhân sấy 2,5m/s.



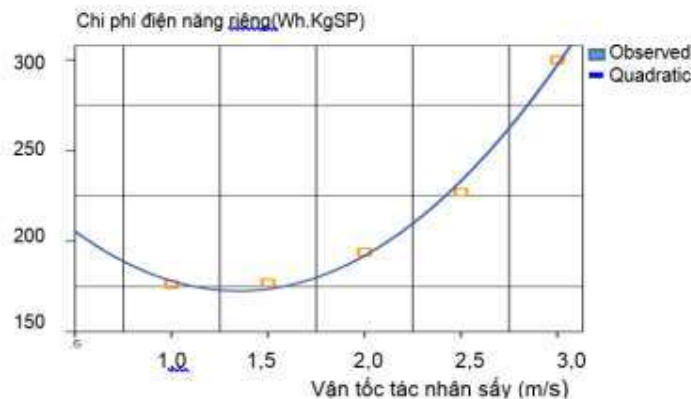
Hình 4. Ảnh hưởng của vận tốc tác nhân sấy đến tỷ lệ thu hồi chính phẩm

3.3 Xác định ảnh hưởng của vận tốc tác nhân sấy đến chi phí điện năng riêng

Căn cứ kết quả xử lý số liệu cho hàm mục tiêu, tiêu hao điện năng riêng cho thấy ảnh hưởng của vận tốc tác nhân sấy đến tiêu hao điện năng riêng theo quy luật hàm bậc 2. Kết quả xử lý số liệu cho thấy hệ số ý nghĩa trong phân tích phương sai ($0,994 > 0,95$), hệ số tương quan ($R = 0,997$) cùng với mức ý nghĩa của các hệ số đều lớn hơn $0,95$ ($0,992$; $0,962$; $0,982$), tiêu chuẩn Fisher ($162,680$) và các tiêu chuẩn Student của các hệ số ($11,208$; $4,970$; $7,454$) đều đáp ứng.

Phương trình hồi quy và đồ thị quan hệ giữa vận tốc tác nhân sấy và tiêu hao điện năng riêng được thiết lập theo (PT9) và hình 5

$$Y_3 = 255,6 - 123,26.v + 45,71.v^2 \quad (9)$$



Hình 5. Ảnh hưởng của vận tốc tác nhân sấy đến chi phí điện năng riêng

Kết quả thực nghiệm rút ra nhận xét:

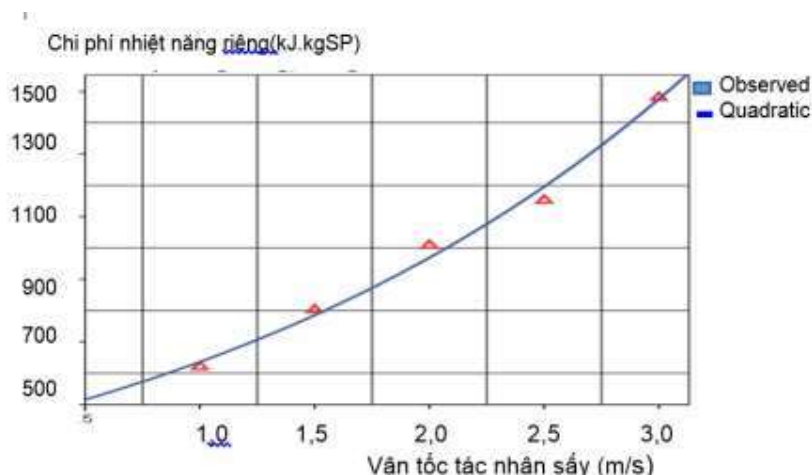
Trong sấy tăng sôi, thiết bị tiêu thụ điện chính là quạt cấp tác nhân sấy, biến tần gắn theo Moto quạt cho phép thay đổi lưu lượng quạt làm thay đổi vận tốc tác nhân sấy. Theo định luật tỷ lệ đối với quạt, quan hệ giữa số vòng quay với lưu lượng là hàm bậc nhất nhưng đối với công suất thì tỷ lệ theo hàm bậc 3. Do vậy, việc tăng vận tốc tác nhân sấy lên quá cao sẽ làm tăng công suất dẫn đến làm tăng tiêu hao điện năng riêng. Để giảm tiêu hao điện năng riêng cho còn cách giảm vận tốc tác nhân sấy, điều này sẽ làm ảnh hưởng đến chế độ sôi.

3.4 Xác định ảnh hưởng của vận tốc sấy đến tiêu hao nhiệt năng riêng

Căn cứ kết quả xử lý số liệu cho thấy tiêu hao nhiệt năng riêng và vận tốc tác nhân sấy có quan hệ với nhau theo quy luật hàm exp, điều này phản ánh qua hệ số ý nghĩa trong phân tích phương sai ($1,000 > 0,95$), hệ số tương quan ($R = 0,995$), mức ý nghĩa của các hệ số đều lớn hơn 0,95 (1,000; 1,000), tiêu chuẩn Fisher (325,153) và các tiêu chuẩn Student của các hệ số (20,217; 18,032) đều đáp ứng, phương trình hồi quy của mối quan hệ này được thiết lập theo (PT 10)

$$Y_4 = 417,96.e^{0,420.v} \quad (10)$$

và thiết lập được đồ thị tương quan của hai thông số này như hình 6



Hình 6. Ảnh hưởng của vận tốc tác nhân sấy đến chi phí nhiệt năng riêng

Nhận xét của thực nghiệm nay như sau:

Tổng nhiệt lượng cung cấp cho quá trình sấy phụ thuộc chủ yếu vào nhiệt độ tác nhân sấy và vận tốc tác nhân sấy. Thực tế đối với sấy tầng sôi vật liệu kết dính như đường RS có sử dụng lớp đệm trợ sôi thì tiêu hao nhiệt lượng riêng còn phụ thuộc vào lượng sản phẩm thu được tại cửa ra của máy sấy.

Ở các mức vận tốc sấy phạm vi trong khoảng < 2 m/s, khi tăng vận tốc sẽ giúp tăng lượng chính phẩm thu được nên chi phí nhiệt năng riêng không chênh lệch nhiều

Ở các mức vận tốc tác nhân sấy lớn $> 2,5$ m/s, tổng nhiệt tăng tiêu thụ tăng nên tiêu hao nhiệt lượng cũng tăng theo. Kết quả thí nghiệm cho thấy vận tốc phù hợp để sấy đường RS nằm trong khoảng 2 – 2,5 m/s, tuy nhiên giá trị tối ưu cần phải xác định cụ thể bằng thực nghiệm đa yếu tố.

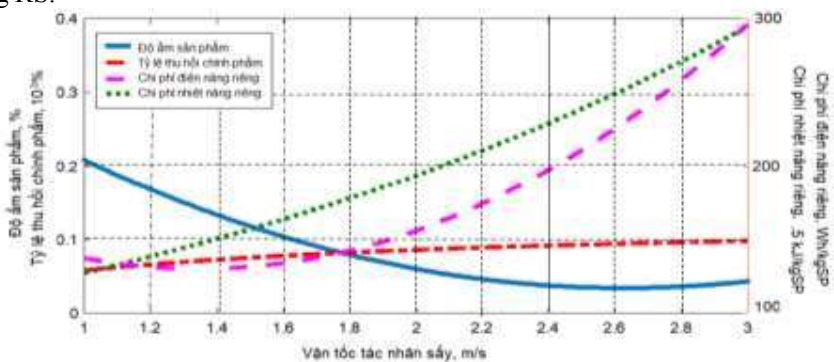
3.5 Đánh giá về độ màu của sản phẩm.

Độ màu của đường RS trước và sau khi sấy được phân tích tại Viện Sinh Học – Thực Phẩm, trường Đại học Công nghiệp Tp.HCM. Sử dụng máy đo độ màu Konica Minolta để xác định các chỉ số của độ màu đường nguyên liệu và sản phẩm. Máy đo màu hoạt động theo mô hình CIE $L^*a^*b^*$, tất cả các màu có cùng một độ sáng sẽ nằm trên cùng một mặt phẳng có dạng hình tròn theo 2 trục a^* và b^* . Màu có giá trị a^* dương thì ngả đỏ, màu có giá trị a^* âm thì ngả lục. Tương tự b^* dương thì ngả vàng và b^* âm thì ngả lam. Còn độ sáng của màu L^* thì thay đổi theo trục dọc.

Kết quả phân tích độ màu cho thấy chỉ số về độ sáng L^* của đường RS tăng lên 22,96% (từ 34,77 đến 45,23), chỉ số màu a^* thay đổi không đáng kể (0,34 so với 0,38), chỉ số màu b^* tăng lên 31,34% (từ 6,31 đến 9,19). Như vậy có thể thấy mẫu nguyên liệu có độ sẫm màu hơn và độ sáng thấp hơn sản phẩm sấy. Do hạn chế về mặt thiết bị nên độ màu của đường RS không được đo bằng máy theo độ màu ICUMSA, vì vậy thực nghiệm này chưa đối chiếu với màu theo tiêu chuẩn TCVN 6958:2001, tuy vậy kết quả phân tích ở trên cũng phản ánh được độ sáng của sản phẩm đường sau sấy cao hơn, độ sẫm màu thấp hơn so với đường nguyên liệu.

3.6 Xây dựng chế độ sấy theo quan hệ tương quan vận tốc tác nhân sấy đến 4 hàm mục tiêu

Đồ thị (hình 7) được thiết lập để xác định ảnh hưởng của vận tốc tác nhân sấy đến 4 hàm mục tiêu từ 4 phương trình hồi quy (phương trình 7; 8;9;10). Dựa trên đồ thị hình 7 ta nhận thấy, ở mức vận tốc 2,2 m/s, độ ẩm sản phẩm đạt yêu cầu (0,046%), tỷ lệ thu hồi chính phẩm là (88,7%), chi phí điện năng riêng và nhiệt năng riêng tương đối thấp (205,6 Wh/kg sản phẩm và 1053 kJ/kg sản phẩm). Khi sấy ở vận tốc thấp hơn thì độ ẩm sản phẩm không đạt TCVN và khi sấy ở vận tốc cao hơn thì tiêu hao điện năng và nhiệt lượng riêng tăng lên. Do vậy, vận tốc tác nhân sấy ở mức 2,2 m/s được lựa chọn phù hợp cho quá trình sấy đường RS.



Hình 7. Đồ thị ảnh hưởng của vận tốc tác nhân sấy đến 4 hàm mục tiêu

4 KẾT LUẬN

Vận tốc tác nhân sấy tăng thì cường độ thoát ẩm trong vật liệu sấy càng nhanh dẫn đến độ ẩm sản phẩm giảm hơn mức tiêu chuẩn (độ ẩm sản phẩm không cần quá khô), ngược lại, vận tốc tác nhân sấy thấp, quá trình bốc hơi kém, không đáp ứng với lượng đường RS nạp vào theo thiết kế dẫn đến làm phá hỏng lớp hạt già lỏng và quá trình sấy sớm kết thúc.

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 $v_g = 2\text{m/s}$ cho chất lượng hạt sấy đạt độ ẩm tiêu chuẩn; tiêu hao nhiệt lượng riêng là 1008 kJ/kg sản phẩm; tiêu hao điện năng riêng từ 194 Wh/kg sản phẩm và tỷ lệ thu hồi chính phẩm đạt 87 ÷ 88%.

Dựa trên kết quả phân tích đơn yếu tố kết hợp với biểu diễn quan hệ 4 thông số công nghệ ảnh hưởng đến 4 hàm mục tiêu, chế độ sấy tầng sôi xung khí hợp lý với hạt đường RS được xác định gồm nhiệt độ sấy là 75°C , vận tốc tác nhân là 2,2 m/s, tần số xung khí là 0,6 Hz và đường kính hạt phạm vi 0,400mm

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Baikow, V. E., Manufacture and refining of raw cane sugar. Elsevier, 2013.
- [2] Bộ khoa học và Công nghệ, TCVN 6961: 2001 tiêu chuẩn TCVN về đường thô, 2001.
- [3] Bộ khoa học và Công nghệ, TCVN 6958: 2001 Tiêu chuẩn đường tinh luyện, 2001.
- [4] Bùi Trung Thành, 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 tháng 11/2012.
- [5] Bùi Trung Thành, Nguyễn Huy Bích, Nghiên cứu & phát triển các loại máy sấy đường cát trắng trong các nhà máy đường công nghiệp Việt Nam. Tạp chí thông tin cơ điện nông nghiệp, 2004.
- [6] Daud, W. R. W., Fluidized Bed Dryers Recent Advances. Advanced Powder Technology, 19(5), p403–418, 2008.

- [7] Gawrzynski Z., Glaser R., Kudra T. Drying of powdery materials in a pulsed fluid bed dryer. Drying Technology, p1523-1532, 1999.
- [8] Howard.J.R., Fluidized bed Technology, principles and application. Taylor & Francis Group, 1989.
- [9] Kudra, T., & Mujumdar, A. S., Advanced drying technologies. CRC Press, 2009.
- [10] Marcello Nitz, Osvaldir P. Taranto, 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, 2009.
- [11] Nguyễn Cảnh, Quy hoạch thực nghiệm. NXB Đại học quốc gia Tp.HCM, pp120, 2004.
- [12] Phan Hiếu Hiền, Phương pháp bố trí thí nghiệm và xử lý số liệu thực nghiệm. Nhà xuất bản Nông nghiệp, 2001.
- [13] Roy, G. K., & Sengupta, P., Prediction of the pressure drop across a gas-solid semi-fluidized bed. The Chemical Engineering Journal, 5(2), p191-196, 1973.
- [14] Somkiat Prachayawarakorn, Warunee Tia, Korakot Poopai boon, Somchart Soponronnarit, Comparison of performance of pulsed and conventional fluidized bed dryer. Journal of Stored Products Research, 41(5), p479–497, 2005.
- [15] Võ Văn Huy, Võ Thị Lan, Hoàng Trọng, Ứng dụng SPSS for windows để xử lý và phân tích dữ kiện nghiên cứu marketing, quản trị, kinh tế, tâm lý, xã hội, NXB Khoa học Kỹ thuật, 1997.
- [16] Ambrosio-Ugri, M. C. B., Taranto, O. P., Drying in the rotating-pulsed fluidized bed. Brazilian Journal of Chemical Engineering, 24(1), p95-100, 2007.
- [17] Godoi F.C. et al., Analysis of the drying process of a biopolymer (poly-hydroxybutyrate) in rotating-pulsed fluidized bed. Chemical Engineering and Processing, 50, 623–629, 2011.
- [18] Li, Z., Kobayashi, N., Deguchi, S., & Hasatani, M. (2004). Investigation on the drying kinetics in a pulsed fluidized bed. Journal of chemical engineering of Japan, 37(9), p1179-1182, 2011.
- [19] Ali, Syed Sadiq, and Mohammad Asif. Fluidization of nano-powders: effect of flow pulsation. Powder technology 225 (2012): 86-92, 2012.

Ngày nhận bài: 23/04/2019

Ngày chấp nhận đăng: 12/06/2019