TỐI ƯU HÓA ĐA MỤC TIÊU VỚI CHUẨN TỐI ƯU TỔ HỢP S ỨNG DỤNG XÁC LẬP CHẾ ĐỘ CÔNG NGHỆ SẤY THĂNG HOA CHO THỦY SẢN NHÓM GIÁP XÁC ĐẠI DIỆN LÀ TÔM SÚ

Nguyễn Tấn Dũng[(1)], Lê Xuân Hải [(2)], Trịnh Văn Dũng[(2)]

(1)Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Tp.HCM, (2) Trường Đại học Bách Khoa, ĐHQG-HCM

(Bài nhận ngày 01 tháng 10 năm 2009, hoàn chỉnh sửa chữa ngày 23 tháng 06 năm 2010)

TÓM TẮT: *Bài báo này trình bày những kết quả nghiên cứu xác lập chế độ công nghệ sấy thăng hoa (STH) cho thủy sản nhóm giáp xác đại diện là tôm sú bằng cách giải bài toán tối ưu đa mục tiêu với chuẩn tối ưu tổ hợp S (phương pháp điểm không tưởng). Nghiên cứu thực nghiệm đã tiến hành để xây dựng các hàm mục tiêu mô tả sự ảnh hưởng của các yếu tố công nghệ (nhiệt độ môi trường sấy, áp suất môi trường sấy, thời gian sấy) đến quá trình STH. Bằng phương pháp điểm không tưởng đã giải bài toán tối ưu đa mục tiêu cho phép xác lập chế độ công nghệ tối ưu cho quá trình STH sao cho các tiêu chí: chi phí năng lượng tạo ra 1 kg sản phẩm (SP), độ co rút thể tích, tổn thất vitamine C của SP, độ ẩm cuối cùng của SP phải tiến tới ngưỡng cực tiểu và khả năng hoàn ẩm trở lại của SP phải tiến tới ngưỡng cực đại (có nghĩa chỉ số kháng hoàn ẩm tiến tới ngưỡng cực tiểu).*

Từ khóa: *Tối ưu hóa đa mục tiêu, sấy thăng hoa.*

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

STH là một kỹ thuật phức tạp được thực hiện theo ba giai đoạn chính nối tiếp nhau trên cơ sở sơ đồ quy trình công nghệ được giới thiệu trên hình 16. **Giai đoạn 1** là giai đoạn lạnh đông VLS, **giai đoạn 2 và 3** là giai đoạn STH và giai đoạn sấy chân không (SCK). Đây là hai giai đoạn quyết định để tạo ra sản phẩm.

Khi xác lập chế độ công nghệ STH nếu xét riêng theo từng tiêu chí thì thường đòi hỏi: chi phí năng lượng tạo ra 1kg SP (y_1, kWh/kg SP); độ ẩm cuối cùng của SP (y_2, %); khả năng kháng hoàn ẩm của SP (y_3 , %); độ co rút SP sau khi sấy (y_4, %); độ tổn thất vitamine C của SP (y_5, %) phải đạt cực tiểu. Cần nhấn mạnh rằng 5 tiêu chí này đều phụ thuộc vào 3 yếu tố công nghệ: nhiệt độ môi trường sấy (Z_1, ^{0}C), áp suất môi trường sấy (Z_2, mmHg), thời gian sấy (Z_3, h).

Khi xét đồng thời cả 5 tiêu chí sao cho mỗi tiêu chí phải đạt được mức tốt nhất (nhỏ nhất) có thể được sẽ dẫn tới yêu cầu phải đặt ra và giải quyết một cách chuẩn mực bài toán tối ưu (BTTƯ) đa mục tiêu [4]. Đây là BTTƯ thường xuyên xuất hiện trong thực tế và trong các lĩnh vực khác nhau. Bài báo này trình bày phương pháp giải BTTƯ đa mục tiêu với chuẩn tối ưu tổ hợp S(Z) (hay gọi phương pháp điểm không tưởng) của quá trình STH tôm sú. Cùng với việc giải mô hình toán truyền nhiệt tách ẩm trong điều kiện STH [3] kết quả tối ưu đa mục tiêu thu được cho phép xác lập chế độ công nghệ STH tôm sú gần với chế độ "không tưởng" nhất [4].

2. TỐI ƯU HÓA ĐA MỤC TIÊU VỚI CHUẨN TỐI ƯU TỔ HỢP S

2.1. Một số khái niệm cơ sở [4]

Phần cơ sở lý thuyết tối ưu hóa đa mục tiêu với chuẩn tối ưu tổ hợp S đã được giới thiệu ở [4], để tiện cho việc ứng dụng xác lập chế độ STH xin được bày lại một số điểm cơ bản sau.

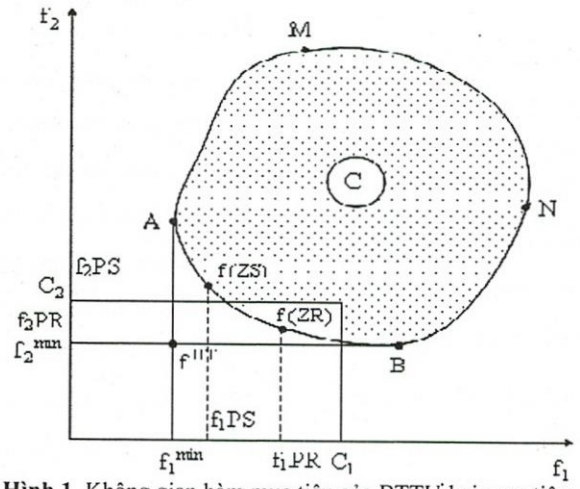
Xét một đối tượng công nghệ gồm m hàm mục tiêu $f_1(Z)$, $f_2(Z)$, ..., $f_m(Z)$. Các hàm mục tiêu này hình thành nên *véctơ hàm mục tiêu* $f(Z) = \{f_j(Z)\} = \{f_1(Z), f_2(Z), ..., f_m(Z)\}$, trong đó $j = 1 \div m$. Mỗi hàm thành phần $f_j(Z)$ phụ thuộc vào n biến tác động $Z_1, Z_2, ..., Z_n$, các biến Z_i ($i = 1 \div n$) sẽ hình thành nên véctơ các yếu tố ảnh hưởng hay gọi là *véctơ biến Z*. Các biến này biến thiên trong *miền giới hạn (miền xác định)* Ω_Z và các giá trị của hàm mục tiêu sẽ tạo thành *miền giá trị của hàm mục tiêu* Ω_f (trong trường hợp BTTƯ hai mục tiêu có thể biểu diễn hình học bởi miền nằm trong đường cong kín **A – f(ZS) – f(ZR) – B – N – M**, xem ***hình 1***).

Mỗi hàm mục tiêu $f_j(Z)$ cùng với véctơ biến $Z = \{Z_i\} = (Z_1, Z_2, ..., Z_n)$, trong đó $i = 1 \div n$, hình thành một BTTƯ một mục tiêu. Để đơn giản nhưng không hề làm mất tính tổng quát, BTTƯ m mục tiêu sẽ được trình bày cho trường hợp toàn bộ m BTTƯ một mục tiêu đều là các bài toán tìm cực tiểu có dạng:

$$f_{jmin} = f_j(Z_1^{j\ opt}, Z_2^{j\ opt}, ..., Z_n^{j\ opt}) = \text{Min } f_j(Z_1, Z_2, ..., Z_n) \quad (1)$$

$$Z = \{Z_i\} = (Z_1, Z_2, ..., Z_n) \in \Omega_Z \quad (2)$$

$$j = 1 \div m;\ i = 1 \div n \quad (3)$$



Hình 1. Không gian hàm mục tiêu của BTTƯ hai mục tiêu

▪ **Phương án không tưởng và hiệu quả không tưởng** [4]: Nếu tồn tại véctơ biến $Z^{UT} = \{Z_i^{UT}\} = (Z_1^{UT}, Z_2^{UT}, ..., Z_n^{UT}) \in \Omega_Z$ là nghiệm chung cho tất cả m BTTƯ một mục tiêu (1) + (2) + (3), nghĩa là $Z_i^{UT} = Z_i^{jopt}$ với mọi i = 1 ÷ n, thì Z_i^{UT} được gọi là phương án không tưởng hoặc nghiệm không tưởng của BTTƯ m mục tiêu.

Thực tế thường không tồn tại Z_i^{UT}. Nhưng mỗi BTTƯ một mục tiêu (1) + (2) + (3) vẫn có các f_{jmin} (với j = 1 ÷ m) tương ứng nên vẫn tồn tại $f^{UT} = (f_{1min}, f_{2min}, ..., f_{mmin})$ và khi đó $f^{UT} = (f_{1min}, f_{2min}, ..., f_{mmin})$ được gọi là hiệu quả không tưởng hay điểm không tưởng. Ở ***hình 1*** điểm không tưởng f^{UT} của BTTƯ hai mục tiêu tồn tại nhưng năm ngoài miền xác định Ωf tức là nghiệm không tưởng không tồn tại.

▪ **Phương án trội và phương án bị trội** [4]: Giả sử có hai véctơ biến ZQ = {ZQ_i} và ZV = {ZV_i} với mọi i = 1 ÷ n. Khi đó sẽ có hai véctơ hàm tương ứng f(ZQ) = {f_j(ZQ)} và f(ZV) = {f_j(ZV)} với mọi j = 1 ÷ m.

Nếu với mọi j đều có: $f_j(ZQ) < f_j(ZV)$ thì ZQ được gọi là *phương án trội* (hay *nghiệm trội*) so với ZV, ký hiệu: ZQ '>' ZV, còn ZV được gọi là *phương án bị trội* (hay *nghiệm bị trội*), ký hiệu ZV '<' ZQ.

▪ **Phương án Paréto tối ưu** [4]: Phương án ZP được gọi là *phương án Paréto tối ưu* nếu ZP không thể bị trội bởi bất kỳ phương án nào khác thuộc miền giới hạn Ω_Z. Khi đó f(ZP) được gọi là một *hiệu quả Paréto tối ưu* nằm trong *tập hiệu quả Paréto tối ưu* ΩfP. Ở ***hình 1*** tập hiệu quả Paréto tối ưu ΩfP chính là đường cong **A – f(ZS) – f(ZR) – B**.

Một nghiệm của BTTƯ đa mục tiêu (1) + (2) + (3) tìm được bằng một phương pháp giải bất kỳ nào đó, muốn được công nhận là tối ưu theo phương pháp giải đã lựa chọn, trước hết phải được chứng minh rằng nghiệm đó phải là một phương án Paréto tối ưu.

2.2. Tối ưu hóa đa mục tiêu với chuẩn tối ưu tổ hợp S [4]

Xét BTTƯ m mục tiêu (1) + (2) + (3). Sau khi giải từng BTTƯ một mục tiêu sẽ xác định được các giá trị tối ưu $f_{1min}, f_{2min}, ..., f_{mmin}$ và khi nghiệm không tưởng (nghiệm chung cho cả hệ) không tồn tại cũng vẫn xác định được điểm không tưởng $f^{UT} = (f_{1min}, f_{2min}, ..., f_{mmin})$. Một chuẩn tối ưu tổ hợp S được định nghĩa theo biểu thức sau:

$$S(Z) = \left[\sum_{j=1}^{m} s_j^2(Z)\right]^{0.5}$$

$$= \left[\sum_{j=1}^{m} \left(f_j(Z) - f_{jmin}\right)^2\right]^{0.5} \quad (4)$$

Dễ dàng thấy rằng S(Z) chính là khoảng cách từ điểm f(Z) đến điểm không tưởng f^{UT}. Chọn chuẩn tối ưu tổ hợp S(Z) làm hàm mục tiêu, BTTƯ m mục tiêu được phát biểu lại như sau:

Hãy tìm nghiệm ZS = ($Z_1S, Z_2S, ..., Z_nS$) ∈ Ω_Z sao cho hàm mục tiêu S(Z) đạt giá trị cực tiểu:

$$S_{min} = S(ZS) = Min\ S(Z)$$

$$= \min\left[\sum_{j=1}^{m} \left(f_j(Z) - f_{jmin}\right)^2\right]^{0.5} \quad (5)$$

$Z = (Z_1, Z_2, ..., Z_n) \in \Omega_Z$

Đã chứng minh được rằng nghiệm ZS của BTTƯ (5), nếu tồn tại thì nghiệm ZS chính là nghiệm Paréto tối ưu của BTTƯ m mục tiêu (1) + (2) + (3) [4]

Ký hiệu: f(ZS) = fPS = (f_1PS, f_2PS, ..., f_mPS). Với phương pháp điểm không tưởng (từ BTTƯ m mục tiêu đưa về bài toán chuẩn tối ưu tổ hợp S) nghiệm Paréto tối ưu ZS tìm được sẽ cho hiệu quả Paréto tối ưu f(ZS) = fPS đứng gần điểm không tưởng f^{UT} = (f_{1min}, f_{2min}, ..., f_{mmin}) nhất. Trường hợp m = 2 (hai mục tiêu) được minh họa ở ***hình 1***.

3. TỐI ƯU HÓA QUÁ TRÌNH STH

3.1. Nguyên liệu

Vật liệu ẩm là tôm sú có kích cỡ đại đa số (41÷50) con/pound, hệ số phân cỡ K = 11, [5]. Chần ở nhiệt độ 70^{0}C trong khoảng thời gian (15 ÷ 30)s, sau đó bốc vỏ, bỏ đầu.

3.2. Quy trình công nghệ và phương pháp nghiên cứu

- Quy trình công nghệ STH tôm sú được trình bày trên ***hình 16***.

- Xác định chi phí năng lượng (y_1) cho 1 kg SP bằng Watt meter, đơn vị [kWh/kg SP], [2].

- Xác định độ ẩm của SP (y_2) bằng cảm biến khối lượng đo lường bằng máy tính, [2].

$$y_2 = 100 - \frac{G_{bd}}{G_t}(100 - W_{bd}) \qquad (6)$$

- Xác định khả năng kháng hoàn ẩm của SP (y_3): gọi IR [%] là khả năng hoàn ẩm trở lại của SP thì y_3 = 100 – IR, [2].

$$IR = \frac{G_1 - G_t}{G_{bd} - G_t}100\% \qquad (7)$$

$$y_3 = \frac{G_{bd} - G_1}{G_{bd} - G_t}100\% \qquad (8)$$

Trong đó: G_{bd} [kg] - khối lượng VLS ban đầu, G_t [kg] - khối lượng VLS cuối cùng, G_1 [kg] - khối lượng VLS sau khi sấy ngâm vào nước ở nhiệt phòng 25^{0}C cho đến khi khối lượng không đổi (bão hòa ẩm), W_{bd} [%] - độ ẩm ban đầu của VLS. SP hoàn ẩm tốt nhất khi lượng ẩm hút trở lại bằng lượng ẩm tách ra, có nghĩa $G_1 = G_{bd}$ và $IR_{max} = 1 = 100\%$, $y_{2min} = 0$. Thực tế $y_2 > 0$.

- Xác định độ co thể tích (y_4) trên cơ sở thể tích VLS ban đầu (V_1) và sau khi sấy (V_2) : cho dầu vào dụng cụ đo thể tích, sau đó cho VLS vào sẽ xác định được thể tích, và hiệu thể tích sau và trước khi cho VLS vào chính là thể tích của VLS [2]:

$$y_4 = \frac{V_1 - V_2}{V_1}100\% = \frac{\Delta V}{V_1}100\% \qquad (9)$$

SP không nứt nẻ bề mặt, SP không bị co ngót, có nghĩa $y_{4min} = 0$. Thực tế $y_4 > 0$.

- Xác định độ tổn thất vitamine C của sản phẩm sau khi sấy: xác định hàm lượng vitamine C của sản phẩm trước (m_1 [mg%]) và sau (m_2 [mg%]) khi sấy theo phương pháp TCVN 4715 – 89, [2, 5]. Như vậy lượng tổn thất vitamine C xác định bởi:

$$y_5 = \frac{m_1 - m_2}{m_1}100\% = \frac{\Delta m}{m_1}100\% \qquad (10)$$

SP đạt chất lượng tốt khi không có tổn thất vitamine C, có nghĩa $y_{5min} = 0$, thực tế $y_5 > 0$.

- Xác định nhiệt độ, áp suất bằng cảm biến nhiệt độ, áp suất đo lường bằng máy tính.

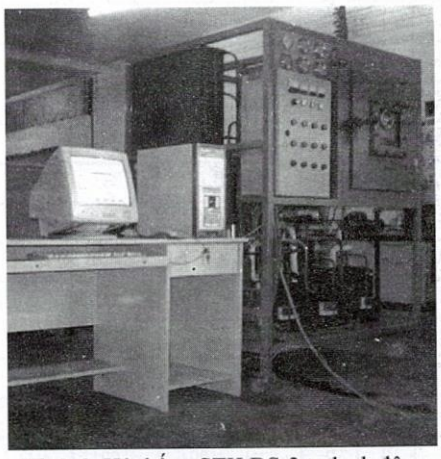
- Phương pháp qui hoạch thực nghiệm trực giao cấp hai, [4].

- Xác lập và giải BTTƯ 5 mục tiêu bằng phương pháp điểm không tưởng, [4].

3.3. Thiết bị và dụng cụ thực nghiệm

- Thiết bị sấy thăng hoa DS-3 đo lường và điều khiển tự động bằng máy tính, xem ***hình 2***.

- Dụng cụ xác định các mục tiêu như: năng lượng, độ ẩm, khả năng hút nước trở lại, độ co rút thể tích, lượng tổn thất vitamine C, có thể tham khảo [2, 5].



Hình 2. Hệ thống STH DS-3 tự lạnh đông (-50 | - 45)^{0}C

3.3. Kết quả nghiên cứu và thảo luận

3.3.1. Xây dựng các hàm mục tiêu thành phần của bài toán đa mục tiêu

Các hàm mục tiêu thành phần của quá trình STH tối ưu y_1, y_2, y_3, y_4 , y_5 phụ thuộc vào các yếu tố: nhiệt độ môi trường sấy (Z_1 [^{0}C]), áp suất môi trường sấy (Z_2 [mmHg]), thời gian sấy (Z_3 [h]) và được xác định bằng phương pháp quy hoạch thực nghiệm với ma trận thực nghiệm trực giao cấp II (k = 3, n_0 = 4, tiến hành 18 thí nghiệm). Các biến x_1, x_2, x_3 là các biến mã hóa của Z_1, Z_2, Z_3. Cánh tay đòn có giá trị $\alpha = 1.414$

Từ việc thiết lập và giải mô hình toán truyền nhiệt tách ẩm trong STH để độ ẩm cuối cùng của sản phẩm đạt yêu cầu [3], đã xác định được điều kiện thí nghiệm được trình bày trong ***bảng 1***.

Bảng 1. Các mức yếu tố ảnh hưởng

Yếu tố	Các mức					Khoảng biến thiên ΔZ_i
	$-\alpha$ (-1,414)	Mức dưới, -1	Mức cơ sở, 0	Mức trên, +1	$+\alpha$ (1.414)	
Z_1 [^{0}C]	20.102	23	30	37	39.898	7
Z_2 [mmHg]	0.008	0.094	0.3	0.507	0.592	0.2065
Z_3 [h]	11.172	12	14	16	16.828	2

Tiến hành thực nghiệm theo các mức yếu tố ảnh hưởng ở ***bảng 1*** để xác định giá trị của các hàm mục tiêu đã được đặt ra: y_1, y_2, y_3, y_4 và y_5. Kết quả nhận được ở ***bảng 2***.

Bảng 2. Ma trận thực nghiệm phương án trực giao bậc II, k = 3, $n_0 = 4$

N		x_0	x_1	x_2	x_3	x_1x_2	x_1x_3	x_2x_3	x_1^2 - 2/3	x_2^2 - 2/3	x_3^2 - 2/3	y_1	y_2	y_3	y_4	y_5
TYT 2^k	1	1	1	1	1	1	1	1	0.333	0.333	0.333	80.42	3.72	12.45	10.91	3.253
	2	1	-1	1	1	-1	-1	1	0.333	0.333	0.333	83.51	4.81	10.01	8.978	2.554
	3	1	1	-1	1	-1	1	-1	0.333	0.333	0.333	89.71	3.51	11.71	10.917	2.161
	4	1	-1	-1	1	1	-1	-1	0.333	0.333	0.333	84.34	5.04	7.73	8.525	1.192
	5	1	1	1	-1	1	-1	-1	0.333	0.333	0.333	66.52	5.36	10.94	10.312	2.581
	6	1	-1	1	-1	-1	1	-1	0.333	0.333	0.333	65.78	5.69	7.78	8.671	2.247
	7	1	1	-1	-1	-1	-1	1	0.333	0.333	0.333	65.89	5.39	10.09	8.478	1.628
	8	1	-1	-1	-1	1	1	1	0.333	0.333	0.333	64.82	5.87	5.97	6.19	1.287
2k	9	1	1.414	0	0	0	0	0	1.333	-0.667	-0.667	81.24	4.08	13.32	12.851	3.388
	10	1	-1.414	0	0	0	0	0	1.333	-0.667	-0.667	68.15	4.96	5.45	6.379	1.707
	11	1	0	1.414	0	0	0	0	-0.667	1.333	-0.667	70.62	4.93	8.61	11.633	2.748
	12	1	0	-1.414	0	0	0	0	-0.667	1.333	-0.667	73.73	4.01	7.75	8.307	2.653
	13	1	0	0	1.414	0	0	0	-0.667	-0.667	1.333	98.71	3.51	12.61	10.127	2.521
	14	1	0	0	-1.414	0	0	0	-0.667	-0.667	1.333	65.45	5.02	7.57	7.697	1.787
n_0	15	1	0	0	0	0	0	0	-0.667	-0.667	-0.667	77.31	4.41	7.08	7.858	2.281
	16	1	0	0	0	0	0	0	-0.667	-0.667	-0.667	75.52	4.21	7.12	8.018	2.263
	17	1	0	0	0	0	0	0	-0.667	-0.667	-0.667	78.24	4.29	7.16	8.449	2.127
	18	1	0	0	0	0	0	0	-0.667	-0.667	-0.667	73.63	4.13	7.74	7.659	2.011

Sau khi xử lý số liệu thực nghiệm, tính toán các hệ số phương trình hồi quy, kiểm định sự có nghĩa của các hệ số phương trình hồi quy theo chuẩn Student, kiểm tra sự tương thích của phương trình hồi quy với kết quả thực nghiệm theo chuẩn Fischer đã thu được các phương trình hồi quy:

$$y_1 = f_1(x_1, x_2, x_3) = 75.755 + 1.883x_1 + 10.167x_3 - 2.491\left(x_2^2 - 2/3\right) + 2.487\left(x_3^2 - 2/3\right) \quad (11)$$

$$y_2 = f_2(x_1, x_2, x_3) = 4.608 - 0.39x_1 - 0.614x_3 - 0.226x_1x_3 + 0.27\left(x_1^2 - 2/3\right) + 0.245\left(x_2^2 - 2/3\right) + 0.142\left(x_3^2 - 2/3\right) \quad (12)$$

$$y_3 = f_3(x_1, x_2, x_3) = 8.949 + 2.069x_1 + 0.575x_2 + 1.187x_3 + 0.851\left(x_1^2 - 2/3\right) + 1.205\left(x_3^2 - 2/3\right) \quad (13)$$

$$y_4 = f_4(x_1, x_2, x_3) = 8.998 + 1.45x_1 + 0.789x_2 + 0.76x_3 - 0.484x_2x_3 + 0.429\left(x_1^2 - 2/3\right) + 0.607\left(x_2^2 - 2/3\right) \quad (14)$$

$$y_5 = f_5(x_1, x_2, x_3) = 2.244 + 0.393x_1 + 0.375x_2 + 0.205x_3 - 0.178\left(x_3^2 - 2/3\right) \quad (15)$$

3.3.2. Giải các BTTƯ một mục tiêu

ác BTTƯ một mục tiêu là tìm: $y_{1min} = minf_1(x_1, x_2, x_3)$; $y_{2min} = minf_2(x_1, x_2, x_3)$; $y_{3min} = minf_3(x_1, x_2, x_3)$; $y_{4min} = minf_4(x_1, x_2, x_3)$; $y_{5min} = minf_5(x_1, x_2, x_3)$, với miền giới hạn: $\Omega x = \{-1.414 \le x_1, x_2, x_3 \le 1.414\}$ được giải nhờ sự hỗ trợ của phần mềm Excel – Solver. Kết quả tính toán xác định được các thông số tối ưu cho các BTTƯ một mục tiêu với từng hàm mục tiêu (11), (12), (13), (14) và (15) trong vùng giới hạn nghiên cứu thực nghiệm như sau:

$y_{1min} = 58.71$ với: $x_1^{1opt} = -1.414$; $x_2^{1opt} = 1.414$; $x_3^{1opt} = -1.414$

$y_{2min} = 3.119$ với: $x_1^{2opt} = 1.314$; $x_2^{2opt} = -6.11E-08$; $x_3^{2opt} = 1.414$

$y_{3min} = 5.215$ với: $x_1^{3opt} = -1.216$; $x_2^{3opt} = -1.414$; $x_3^{3opt} = -0.4925$

$y_{4min} = 5.163$ với: $x_1^{4opt} = -1.394$; $x_2^{4opt} = -1.2137$; $x_3^{4opt} = -1.405$

$y_{5min} = 0.7497$ với: $x_1^{5opt} = -1.241$; $x_2^{5opt} = -1.414$; $x_3^{5opt} = -1.341$

Từ kết quả đó xác định được điểm không tưởng $f^{UT} = (f_{1min}, f_{2min}, f_{3min}, f_{4min}, f_{5min}) = (58.71, 3.1, 5.21, 5.16, 0.75)$. Rõ ràng kết quả nghiên cứu thực nghiệm ở trên đã xác định được điểm không tưởng nhưng phương án không tưởng không tồn tại.

$(x_1^{jopt}, x_2^{jopt}, x_3^{jopt}) \ne (x_1^{kopt}, x_2^{kopt}, x_3^{kopt})$ với $j, k = 1 \div 5, j \ne k$.

3.3.3. Giải BTTƯ đa mục tiêu theo phương pháp điểm không tưởng

Quá trình STH với 5 mục tiêu đã đề ra được biểu diễn bởi 5 phương trình hồi quy (11), (12), (13), (14) và (15). Vì không thể có nghiệm chung để làm thỏa mãn tất cả các giá trị: y_{1min}, y_{2min}, y_{3min}, y_{4min}, y_{5min} nên BTTƯ đa mục tiêu được đặt ra là tìm nghiệm Paréto tối ưu để hiệu quả Paréto tối ưu $yPS = (y_1PS, y_2PS, y_3PS, y_4PS, y_5PS)$ đứng gần điểm không tưởng nhất.

Xây dựng hàm mục tiêu tổ hợp S như sau:

$$\begin{cases} S(x_1, x_2, x_3) = \left[\sum_{j=1}^{5}\left(y_j - y_{jmin}\right)^2\right]^{0.5} \\ \Omega x = \left\{-1.414 \le x_1, x_2, x_3 \le 1.414\right\} \end{cases} \quad (16)$$

BTTƯ 5 mục tiêu yêu cầu xác định (x_1S, x_2S, x_3S) $\in \Omega x$ để $S(x_1S, x_2S, x_3S) = Min\{S(x_1, x_2, x_3)\}$. Nhờ sự hỗ trợ của phần mềm Excel – Solver đã xác định được giá trị cực tiểu của (16):

$S_{min} = Min\{S(x_1, x_2, x_3)\} = 10.753$

Với: $x_1S = 0.5659$; $x_2S = -1.414$; $x_3S = -0.3936$

Thay x_1S, x_2S, x_3S vào phương trình (11), (12), (13), (14) và (15) xác định được: $y_1PS = 68.226$; $y_2PS = 4.84$; $y_3PS = 7.928$; $y_4PS = 8.795$; $y_5PS = 1.947$; $IR = 100 - y_3PS = 92.072$

Biến đổi sang biến thực: $Z_1 = 33.96$ [^{0}C]; $Z_2 = 0.008$ [mmHg]; $Z_3 = 13.21$ [h]

Như vậy, theo tính toán từ các mô hình (11), (12), (13), (14) và (15) thực nghiệm đã xác định chế độ công nghệ STH đảm bảo cho chuẩn tối ưu tổ hợp S đạt cực tiểu ứng với: nhiệt độ môi trường sấy **33.96** [^{0}C], áp suất môi trường sấy **0.008** [mmHg], thời gian sấy **13.21** [h]. Khi đó tổng chi phí năng lượng cho quá trình sấy tạo ra 1 kg SP là **68.22** [kWh/kg SP], độ ẩm cuối cùng của SP đạt **4.84** [%] (*đã đạt yêu cầu của bài toán đặt ra là từ (2 ÷ 6)%),* khả năng hoàn ẩm trở lại của SP là **92.07** [%], độ co rút thể tích của SP là **8.79** [%] và lượng tổn thất vitamine C của SP là **1.94** [%]. Từ kết quả thực nghiệm đã tiến hành ở ***bảng 2*** có thể thấy, các kết quả tính toán tối ưu là phù hợp và đáp ứng tốt các mục tiêu đã đặt ra.

Khi cố định áp suất môi trường sấy $x_2S = -1.414$, tương đương với $Z_2 = 0.008$ [mmHg], mối quan hệ giữa y_1, y_2, y_3, y_4, y_5 và hàm tổ hợp S theo hai biến x_1, x_3 được biểu diễn về mặt hình học trên đồ thị 3D (***xem hình 3, 4, 5, 6, 7, 8***). Khi x_3 cố định ở các giá trị không đổi, x_1 biến thiên các hàm mục tiêu được thể hiện trên các hình ***9 , 10, 11, 12, 13, 14***.

3.4. Thực nghiệm kiểm chứng

Tiến hành quá trình STH tại nhiệt độ môi trường sấy **33.96** [^{0}C], áp suất môi trường sấy **0.008** [mmHg], thời gian sấy **13.21** [h] và nhận được kết quả chi phí năng lượng cho quá trình sấy tạo ra 1kg SP là **68.77** [kWh/kg SP], độ ẩm cuối cùng của SP đạt **4.76** [%], khả năng hoàn ẩm trở lại của SP là **92.17** [%] (khả năng không hoàn ẩm trở lại của SP là **7.82** [%]), độ co rút thể tích của SP là **8.82** [%] và lượng tổn thất vitamine C của SP là **1.91** [%].

Có thể thấy rằng kết quả tính toán tối ưu hóa quá trình STH bằng phương pháp điểm không tưởng cho kết quả hoàn toàn phù hợp với thực nghiệm.

3.5. Xác lập chế độ công nghệ STH

Với áp suất môi trường STH $P_{th} = 0.008$ [mmHg] thay vào mô hình được thiết lập ở [3], thay các thông số nhiệt vật lý của tôm sú [5], vào mô hình toán truyền nhiệt lạnh đông ở [1], truyền nhiệt tách ẩm trong điều kiện STH ở [3], xác định được thời gian STH ở giai đoạn 2: $\tau_{th} = 11.357$ [h], thời gian SCK ở giai đoạn 3: $\tau_{ck} = 1.853$ [h] với nhiệt độ thăng hoa là -25.11 [^{0}C], nhiệt độ kết tinh của ẩm trong tôm sú -1.21 [^{0}C], [5]. (*sơ đồ qui trình công nghệ - xem **hình 16***):

- **Giai đoạn 1**: lạnh đông vật liệu sấy: nhiệt độ môi trường lạnh đông: $T_e = -45^0$C, nhiệt độ bề mặt VLS $T_w = -34^0$C, nhiệt độ tâm VLS: $T_c = -11.78^0$C, nhiệt độ trung bình VLS: $T_{tb} = -25.11$ [^{0}C].

- **Giai đoạn 2:** sấy thăng hoa: nhiệt độ thăng hoa: T_{th} = -25.11 [^{0}C], nhiệt độ mô trường sấy:

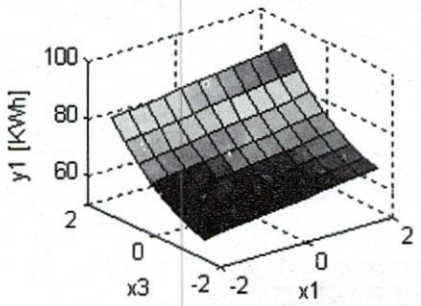
T_f = 33.96 [^{0}C], áp suất môi trường sấy: P_{th} = 0.008 [mmHg], thời gian sấy: τ_{th} =11.357 [h].

- **Giai đoạn 3:** sấy chân không: nhiệt độ VLS $T_{vls} \geq$ -1.21 [^{0}C], nhiệt độ mô trường sấy:

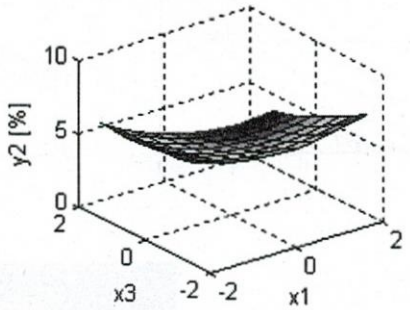
T_f =33.96 [^{0}C], áp suất môi trường sấy: P_{th} =0.008 [mmHg], thời gian sấy: τ_{ck} = 1.853 [h], tổng thời gian sấy là: 13.21 [h].

Khi STH tôm sú với qui trình đã được thiết lập ở sơ đồ ***hình 16***, sản phẩm nhận được ở ***hình 15***, có phí năng lượng cho 1 kg SP và chất lượng sản phẩm như đã khẳng định ở trên

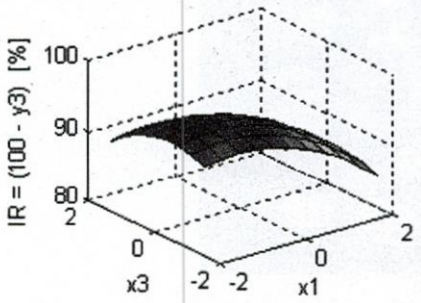
Hình 3. Chi phi nang luong/kg SP, x2 = -1.414



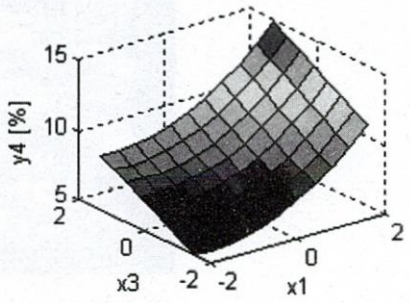
Hình 4. Do am cua san pham, x2 = -1.414



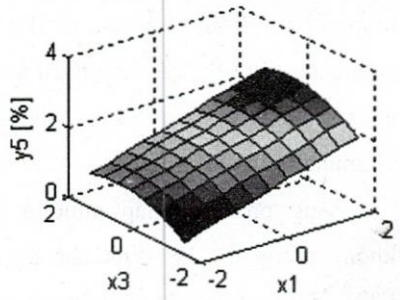
Hình 5. Kha nang hoan am tro lai, x2 = -1.414



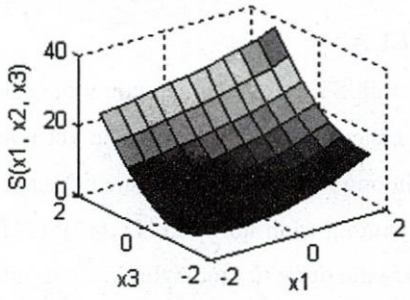
Hình 6. Do co rut san pham, x2 = -1.414

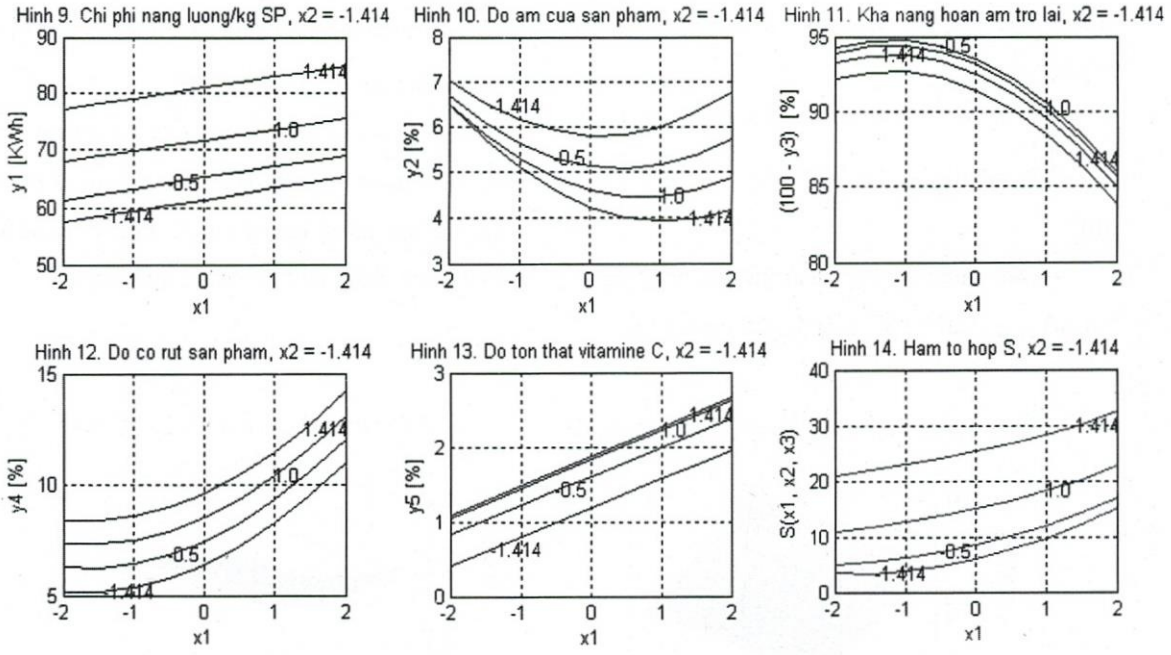


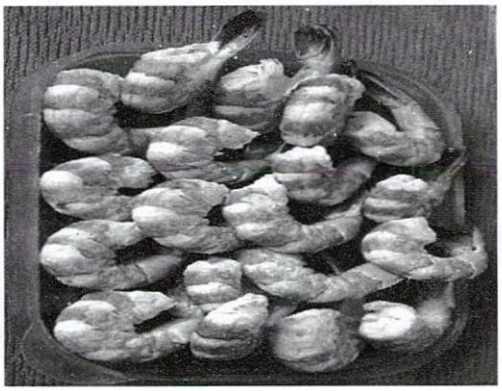
Hình 7. Do ton that vitamine C, x2 = -1.414



Hình 8. Ham to hop S, x2 = -1.414







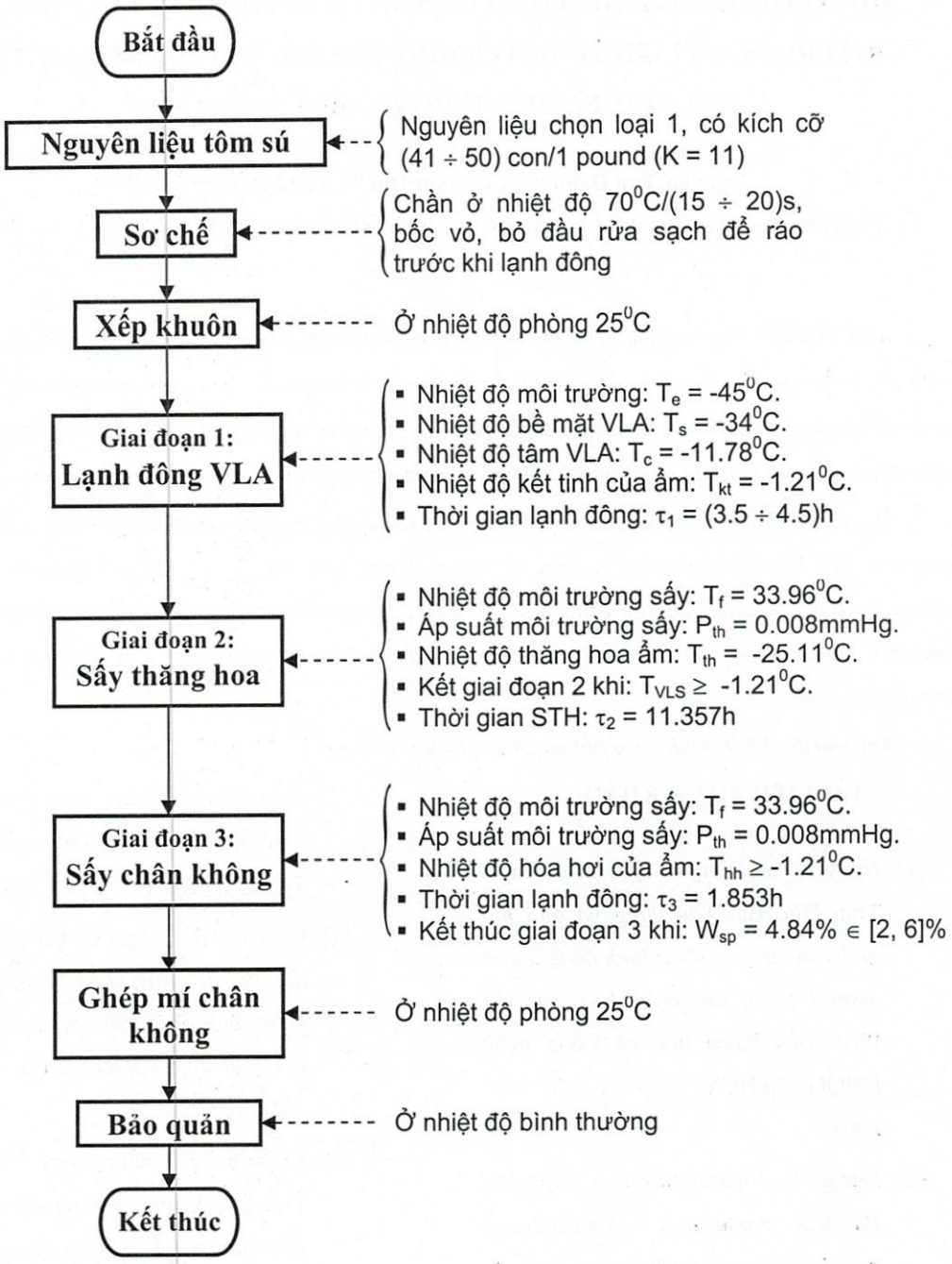
Hình 15. Sản phẩm tôm sú chần sơ, bóc vỏ bỏ đầu STH

4. KẾT LUẬN

Quá trình STH được nghiên cứu một cách hệ thống bằng phương pháp toán học kết hợp với các phương pháp nghiên cứu thực nghiệm.

Các phương trình hồi qui (11), (12), (13), (14) và (15) thu được từ thực nghiệm là các mô hình thống kế thực nghiệm mô tả rất tốt sự ảnh hưởng nhiệt độ môi trường sấy, áp suất môi trường sấy, thời gian sấy đến chi phí năng lượng cho quá trình sấy tạo ra 1kg SP, độ ẩm cuối cùng của SP, khả năng hoàn ẩm trở lại, độ co rút thể tích của SP và lượng tổn thất vitamine C của SP.

Bằng phương pháp phương pháp điểm không tưởng đã xác định chế độ công nghệ STH tối ưu, có chi phí năng lượng quá trình tạo ra 1kg SP là nhỏ nhất và chất lượng SP được tạo ra tốt nhất.



Hình 16. Sơ đồ quy trình công nghệ sấy thăng hoa tôm sú

MULTI-OBJECTIVE OPTIMIZATION WITH OPTIMAL COMBINATION CRITERIA S APPLIED TO DETERMINE FREEZE DRYING REGIME FOR CRUSTACEAN GROUP (*PENAEUS MONODON)*

Nguyen Tan Dzung[(1)], Le Xuan Hai [(2)], Trinh Van Dzung[(2)]

(1) University of Technical Education HCM City, (2) University of Technology, VNU-HCM

ABSTRACT: *This article presents research results from the freeze drying regime for penaeus monodon based-on the solution of the multi-objective optimization problem. Experiments were carried out to determine the objective functions to describe influence of technological parametres (temperature and pressure of sublimation environment, times of freeze drying) during processing freeze drying.*

The multi-objective optimization problem was solved by utopian point method with combination criteria S. The best technological regime for freeze drying was determined. At received freeze drying regime we have minimal energy expenditures, minimal contraction of product and minimal loss of vitamin C, humidity of material meet requirements from 2 to 6 percentage and maximal absorbent return of product.

Key words: *Multi-Objective optimization, Freeze drying*

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1]. Nguyễn Tấn Dũng - Trịnh Văn Dũng - Trần Đức Ba, *Xây dựng và giải mô hình toán truyền nhiệt lạnh đông ở giai đoạn 1 trong sấy thăng hoa*, Tạp chí Phát triển Khoa học và Công nghệ ĐHQG Tp.HCM, Tập 11, số 08 – 2008.

[2]. Ludger O. Figura, Arthur A. Teixeira, *Physical properties – Measurement and Applications (in Freeze – Drying)*, Journal of Food Engineering, Germany (2007).

[3]. Nguyễn Tấn Dũng, Trịnh Văn Dũng, Trần Đức Ba, N*ghiên cứu thiết lập mô hình toán truyền nhiệt tách ẩm trong điều kiện sấy thăng hoa*, Tạp chí Phát triển Khoa học và Công nghệ ĐHQG Tp.HCM, Tập 11, số 09 – 2009.

[4]. Lê Xuân Hải, Nguyễn Thị Lan, *Tối ưu đa mục tiêu ứng dụng trong quá trình chiết tách chất màu anthocyanin,* Tạp chí phát triển KH&CN, Tập 11, số 09 – 2008.

[5]. Nguyễn Tấn Dũng, Trịnh Văn Dũng, Trần Đức Ba, *Nghiên cứu khảo sát các tính chất nhiệt - vật lý của nhóm giáp xác (tôm sú, tôm bạc và tôm thẻ) ảnh hưởng đến quá trình cấp nhiệt và tách ẩm trong sấy thăng hoa*, Tạp chí Khoa học và Công nghệ thủy sản, (2008).

[6]. Pikal, M.J.; M.L.; Shah, S. *Mass and Heat transfer in vial freeze drying of*

pharmaceuticals: role of the vial. J. Pharm. Sci. Journal of Food Engineering, (1984).

[7]. Liapis, A.I., Bruttini, R. and Pikal, M.J. R*esearch and development needs and opportunities in freeze drying.* Drying Technoloy, Journal of Food Engineering, (1996).