

NGHIÊN CỨU KHẢ NĂNG RÚT NGẮN THỜI GIAN VÀ TIẾT KIỆM NĂNG LƯỢNG CỦA SƠ ĐỒ SẤY GIẢM NHIỆT ĐỘ TÁC NHÂN SẤY THEO BẬC

NGUYỄN MẠNH HÙNG

Khoa Cơ khí, Trường Đại học Giao thông Vận tải

Bài báo trình bày các kết quả nghiên cứu khả năng rút ngắn thời gian sấy (TGS) cũng như khả năng tiết kiệm năng lượng (TKNL) khi sấy gián đoạn theo chế độ nhiệt độ tác nhân sấy (TNS) giảm dần theo bậc trong phạm vi sấy đối lưu bằng bơm nhiệt (25 đến 40°C). Kết quả nghiên cứu cho thấy, sơ đồ sấy có thể rút ngắn được 4,52% TGS và trong sơ đồ sấy thì năng lượng tiết kiệm được có thể đạt đến 19,86% khi so sánh với sấy liên tục.

Từ khóa: sấy gián đoạn, tiết kiệm năng lượng, thời gian sấy, động học quá trình sấy.

RESEARCH ON THE POSSIBILITY OF SHORTENING DRYING TIME AND SAVING ENERGY BY STEP-WISE CHANGE IN DRYING AIR TEMPERATURE

Summary

This paper presents the results of research on the possibility to shorten drying time as well as the ability to save energy through intermittent drying by step-wise change in drying air temperature within the convective drying scale by heat pump (25 to 40°C). The study results have shown that the drying time can be shortened by 4.52%, and energy savings can reach 19.86% as compared to continuous drying.

Keywords: intermittent drying, saving energy, drying time, drying kinetics.

giải quyết vấn đề này, trong đó có kỹ thuật sấy gián đoạn (SGĐ), đặc biệt là SGĐ bằng bơm nhiệt là một hướng nghiên cứu có lịch sử nghiên cứu trên 30 năm. Sơ lược về SGĐ được trình bày trong [1], ưu điểm trong khả năng TKNL và rút ngắn TGS của một số sơ đồ SGĐ điển hình bằng bơm nhiệt đã được phân tích trong [2]. Trong số các sơ đồ SGĐ điển hình thì sấy với chế độ nhiệt độ TNS giảm dần theo bậc không chỉ rút ngắn được TGS mà còn có khả năng TKNL. Tuy vậy, việc nghiên cứu, đánh giá khả năng TKNL cũng như khả năng rút ngắn TGS của sơ đồ giảm dần theo bậc này hiện còn tiếp tục phải nghiên cứu. Trong khi đó, năm 2013, các nhà nghiên cứu trên thế giới vẫn đi theo hướng nghiên cứu SGĐ theo hình thức cấp nhiệt on - off (sấy - ủ) [6]. Khả năng TKNL và rút ngắn TGS của sơ đồ giảm dần theo bậc này vẫn còn được để ngỏ. Bài viết trình bày các kết quả nghiên cứu lý thuyết về khả năng rút ngắn TGS cũng như TKNL của sơ đồ SGĐ với nhiệt độ TNS giảm dần theo bậc trong phạm vi sấy đối lưu bằng bơm nhiệt.

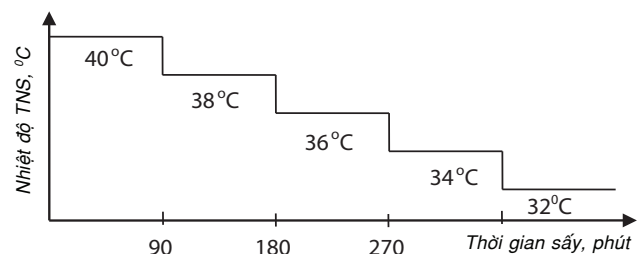
Đặt vấn đề

Hiện nay, TKNL là vấn đề quan trọng được nhiều nhà nghiên cứu, các doanh nghiệp có sử dụng năng lượng đặc biệt quan tâm. Việc rút ngắn thời gian thực hiện quá trình công nghệ không chỉ đem lại lợi ích kinh tế cho người sử dụng quá trình đó mà còn gián tiếp đem lại hiệu quả về mặt năng lượng. Kỹ thuật sấy chiếm tới 15 đến 20% tổng năng lượng sử dụng trong lĩnh vực chế biến thực phẩm [5, 6, 7]. Do vậy, vấn đề TKNL cũng như rút ngắn TGS đang được các nhà khoa học quan tâm nghiên cứu.

Theo [7], hiện có nhiều hướng nghiên cứu để

Nội dung nghiên cứu

Sơ đồ SGĐ nhiệt độ TNS giảm dần theo bậc



Hình 1: sơ đồ sấy gián đoạn nhiệt độ TNS giảm dần theo bậc

Hình 1 thể hiện một ví dụ về sơ đồ SGD mà nhiệt độ TNS giảm dần theo bậc. Nếu TGS kéo dài thì nhiệt độ TNS có thể giảm tương đối nhiều. Có một vấn đề cần lưu ý là nhiệt độ TNS cuối quá trình sấy (QTS) có thể thấp hơn nhiệt độ vật liệu sấy (VLS).

Phương pháp nghiên cứu

Bài viết sử dụng phương pháp nghiên cứu lý thuyết để đánh giá khả năng rút ngắn TGS cũng như khả năng TKNL.

Để nghiên cứu khả năng rút ngắn TGS và khả năng TKNL của các sơ đồ SGD, cần phải xây dựng được động học QTS cũng như xác định được lượng nhiệt cấp cho VLS. Động học QTS thường được xác định bằng 2 cách chính, một là giải hệ phương trình truyền nhiệt truyền chất mô tả QTS, hai là xác định bằng thực nghiệm [4].

Theo cơ sở động học QTS, TGS chính là khoảng thời gian cần thiết để độ ẩm trung bình của VLS giảm từ độ ẩm đầu (trước khi đưa vào sấy) đến trị số theo yêu cầu công nghệ.

Năng lượng cấp vào cho VLS trong QTS đối lưu nhằm 3 nhiệm vụ là hóa hơi ẩm lỏng, dịch chuyển ẩm và làm thay đổi nội năng của VLS. Vì vậy, việc đánh giá khả năng TKNL sẽ thông qua lượng nhiệt cấp vào cho VLS.

Phạm vi nghiên cứu

Trong bài báo này, phạm vi nghiên cứu được xác định dựa trên 2 yếu tố, một là nhiệt độ cuối QTS và hai là khoảng nhiệt độ TNS ứng với sấy đối lưu bằng bơm nhiệt. Ở sơ đồ SGD, cuối QTS sẽ có thể có 2 trường hợp, một là nhiệt độ TNS cao hơn nhiệt độ VLS, hai là thấp hơn hoặc bằng. Khi trường hợp 2 xảy ra thì quá trình truyền chất (dịch chuyển ẩm ra khỏi VLS ở nửa sau QTS vốn đã khó khăn) sẽ trở nên thuận lợi hơn. Bên cạnh đó, trong hầu hết các trường hợp sấy nông sản thực phẩm theo phương thức đối lưu [3], sấy lạnh sử dụng bơm nhiệt sẽ có TGS kéo dài hơn so với sấy nóng.

Do vậy, phạm vi nghiên cứu trong bài toán này sẽ gồm: chế độ sấy theo mẻ, nhiệt độ TNS trong phạm vi sấy đối lưu dùng bơm nhiệt (25-40°C) và nhiệt độ TNS cuối QTS cao hơn nhiệt độ cuối của VLS. Ngoài ra, với độ ẩm và tốc độ TNS, ở đây, tác giả cũng sử dụng các giá trị phù hợp về khía cạnh năng lượng cũng như TGS và không đổi cho các chế độ sấy là 30% và 1 m/s [3].

VLS được sử dụng ở đây là khoai tây lát mỏng 5 mm, đường kính 5 cm, có độ ẩm tương đối ban đầu

là 83,5%, nhiệt độ ban đầu của VLS là 25°C, sấy tới độ ẩm tương đối cuối là 12%. Các tính chất nhiệt vật lý của khoai tây cũng đã được nêu trong [2] và [3].

Mô hình truyền nhiệt truyền chất liên hợp nghiên cứu QTS đối lưu bằng bơm nhiệt

Mô hình truyền nhiệt truyền chất được sử dụng ở đây là mô hình bỏ qua ảnh hưởng của dòng nhiệt đến dòng ẩm [2, 3]. Mô hình này đã được sử dụng để xác định động học quá trình SGD trong [2], ở đây xin trình bày lại sơ lược như sau:

Trong trường hợp hệ số dẫn nhiệt λ là hàm số của nhiệt độ, mô hình có dạng:

$$\begin{cases} \frac{\partial t}{\partial \tau} = \frac{1}{\rho \cdot C_p} \cdot \nabla(\lambda \nabla t) + \frac{r \cdot \rho_s}{\rho \cdot C_p} \cdot \frac{\partial M}{\partial \tau} \\ \frac{\partial M}{\partial \tau} = D_{\text{eff}}(T) \cdot \nabla^2 M \end{cases} \quad (1)$$

Trong đó: t, T - nhiệt độ (°C, K); τ - thời gian sấy (s); ρ, ρ_s, C_p, r - lần lượt là khối lượng riêng vật liệu ẩm, khối lượng riêng vật liệu khô hoàn toàn (kg/m³), nhiệt dung riêng của VLS (J/kg.độ), nhiệt ẩn hóa hơi của nước (J/kg); M - độ chứa ẩm của VLS (kg_a/kg_{vlk}); D_{eff} - hệ số khuếch tán ẩm hiệu quả (m²/s).

Các giả thiết của mô hình: ngoài yếu tố chính là bỏ qua ảnh hưởng của dòng nhiệt đến dòng ẩm, thì cần có: 1) Vật liệu ẩm là đồng chất, không có phản ứng hóa học và không có nguồn nhiệt bên trong; 2) Các tính chất nhiệt vật lý phụ thuộc vào nhiệt độ hoặc độ chứa ẩm hoặc phụ thuộc cả hai; 3) Hệ số khuếch tán hiệu quả D_{eff} ít phụ thuộc vào độ chứa ẩm nhưng phụ thuộc nhiệt độ của vật; 4) Nhiệt độ và độ chứa ẩm ban đầu của vật liệu là đồng nhất; 5) Bỏ qua độ co ngót; 6) Dòng dịch chuyển ẩm dạng lỏng rất nhỏ so với dòng ẩm dạng hơi.

Điều kiện đơn trị: vì cách viết điều kiện biên cho các tọa độ trong hệ tọa độ Decarte là như nhau [4] nên với các giả thiết nêu trên, điều kiện đơn trị của hệ (1) được viết dưới dạng một chiều như sau:

$$t(x, 0) = t_0 \text{ tại } \tau = 0; \quad \left. \frac{\partial t}{\partial x} \right|_{x=0} = 0 \quad (2)$$

$$M(x, 0) = M_0 \text{ tại } \tau = 0; \quad \left. \frac{\partial M}{\partial x} \right|_{x=0} = 0 \quad (3)$$

$$\bar{\alpha} \cdot (t_a - t_{bm}) = -\lambda \cdot \frac{\partial t}{\partial x} \Big|_{x=x_{bm}} \quad (4)$$

$$-D_{eff} \cdot \frac{\partial M}{\partial x} \Big|_{x=x_{bm}} = \bar{\alpha}_m (M_{bm} - M_{cb}) \quad (5)$$

Trong các phương trình trên: $\bar{\alpha}$ là hệ số trao đổi nhiệt đối lưu trung bình tại bề mặt VLS (W/m^2K); $\bar{\alpha}_m$ là hệ số trao đổi ẩm đối lưu trung bình tại bề mặt VLS (m/s); t_a là nhiệt độ TNS ($^{\circ}C$); các đại lượng còn lại đã được trình bày trong [2].

Phương pháp giải hệ phương trình vi phân truyền nhiệt truyền chất (1) được sử dụng ở đây là phương pháp sai phân hữu hạn.

Kết quả

Xác định mức so sánh khả năng TKNL và rút ngắn TGS

Để có thể so sánh khả năng TKNL và rút ngắn TGS của các chế độ sấy mà nhiệt độ TNS giảm dần theo bậc, chúng tôi tiến hành xác định mức so sánh, hay xác định chế độ sấy liên tục phù hợp cả về năng lượng và TGS trong phạm vi nghiên cứu.

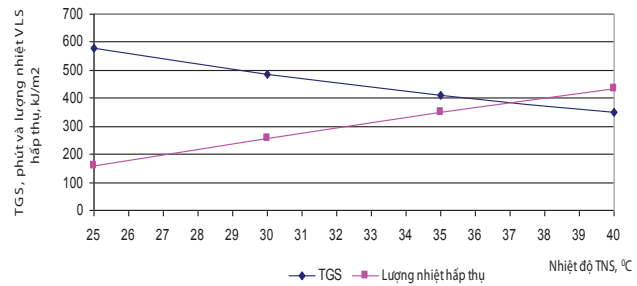
Bảng 1 là kết quả xác định TGS và lượng nhiệt VLS hấp thụ (tương ứng với khả năng TKNL như đã lập luận ở phương pháp nghiên cứu) ứng với các chế độ sấy liên tục khác nhau.

Bảng 1: TGS và lượng nhiệt VLS hấp thụ khi sấy liên tục đến độ ẩm tương đối 12%

STT	Nhiệt độ TNS ($^{\circ}C$)	Độ ẩm TNS (%)	Tốc độ TNS (m/s)	Thời gian sấy (phút)	Nhiệt độ VLS cuối QTS ($^{\circ}C$)	Lượng nhiệt VLS hấp thụ (kJ/m^2)
1	40	30	1,0	350,0	39,98	443
2	35	30	1,0	411,0	34,98	349
3	30	30	1,0	486,2	29,98	255
4	25	30	1,0	579,2	24,99	161
5	37	30	1,0	385,2	36,98	386

Từ bảng 1 có thể thấy, khi nhiệt độ TNS giảm thì TGS tăng lên; nhưng nhiệt lượng VLS hấp thụ hay tiêu hao năng lượng lại giảm đi.

Như vậy, khi lựa chọn chế độ sấy liên tục phù hợp theo cả khía cạnh TGS và năng lượng thì khi biểu diễn TGS, lượng nhiệt VLS hấp thụ ở bảng 1 trên đồ thị (hình 2) có cùng trục hoành là nhiệt độ TNS thì thấy rằng phù hợp nhất là chế độ sấy $37^{\circ}C$. Chế độ sấy liên tục này cũng được sử dụng để đánh giá khả năng TKNL và rút ngắn TGS của các chế độ SGD tiếp theo.



Hình 2: lựa chọn sơ đồ sấy phù hợp về năng lượng và TGS

Kết quả xác định TGS và lượng nhiệt VLS hấp thụ với các chế độ SGD khác nhau

Bảng 2 là kết quả xác định TGS và lượng nhiệt VLS hấp thụ khi SGD theo sơ đồ nhiệt độ TNS giảm dần theo bậc (nhiệt độ TNS ban đầu là $40^{\circ}C$). Những kết quả in nghiêng đậm ứng với các trường hợp nhiệt độ VLS tại thời điểm cuối QTS thấp hơn nhiệt độ TNS.

Bảng 2: TGS và lượng nhiệt VLS hấp thụ khi SGD kiểu bậc thang, nhiệt độ TNS ban đầu $40^{\circ}C$ đến độ ẩm tương đối 12%

STT	Nhiệt độ TNS ban đầu ($^{\circ}C$)	Khoảng thời gian giảm nhiệt độ (phút)	Độ giảm nhiệt độ ($^{\circ}C$)	Thời gian sấy (phút)	Lượng nhiệt VLS hấp thụ (kJ/m^2)	Nhiệt độ VLS cuối QTS ($^{\circ}C$)	Nhiệt độ TNS cuối QTS ($^{\circ}C$)
1	40	200	5	377,0	333	34,98	35,0
2	40	180	5	384,4	232	30,57	30,0
3	40	180	4	376,0	286	32,90	32,0
4	40	180	3	368,0	341	35,40	34,0
5	40	180	2	361,8	393	37,60	36,0
6	40	180	1	355,6	421	38,98	39,0
7	40	170	5	390,4	221	30,04	30,0
8	40	170	4	380,4	266	32,10	32,0
9	40	170	3	371,6	313	34,17	34,0
10	40	170	2	363,6	359	36,23	36,0
11	40	170	1	356,4	404	38,22	38,0
12	40	160	5	396,6	221	29,99	30,0
13	40	160	4	385,2	265	32,00	32,0
14	40	160	3	374,8	310	34,01	34,0
15	40	160	2	365,6	355	36,02	36,0
16	40	160	1	357,6	399	38,02	38,0
17	40	150	5	402,6	223	29,98	30,0
18	40	150	4	389,9	266	31,98	32,0
19	40	150	3	378,0	310	33,99	34,0
20	40	150	2	367,8	355	35,99	36,0
21	40	150	1	358,4	398	37,99	38,0
22	40	140	5	408,4	224	29,98	29,0
23	40	140	4	394,4	267	31,98	32,0
24	40	140	3	381,6	311	33,98	34,0
25	40	140	2	370,0	355	35,98	36,0
26	40	140	1	359,4	399	37,98	38,0
27	40	130	5	419,0	118	25,38	25,0
28	40	130	4	400,2	213	29,60	28,0
29	40	130	3	384,8	312	33,90	34,0
30	40	130	2	372,0	355	35,98	36,0
31	40	130	1	360,0	399	37,98	38,0
32	40	125	5	425,8	112	25,04	25,0
33	40	125	4	405,0	183	28,27	28,0
34	40	125	3	387,6	266	31,90	31,0
35	40	125	2	373,0	356	35,98	36,0
36	40	125	1	361,0	399	37,98	38,0
37	40	120	5	432,4	113	24,99	25,0
38	40	120	4	410,0	179	28,03	28,0
39	40	120	3	391,0	248	31,18	31,0
40	40	120	2	375,0	322	34,50	34,0
41	40	120	1	361,0	396	37,80	37,0
42	40	115	5	439,0	114	24,99	25,0
43	40	115	4	414,8	180	27,99	28,0
44	40	115	3	394,4	245	31,02	31,0
45	40	115	2	377,0	313	34,10	34,0
46	40	110	4	419,8	181	27,99	28,0
47	40	100	2,5	394,0	280	32,48	32,5
48	40	100	4	434,2	95	24,18	24,0
49	40	90	1	368,0	366	36,48	36,0

Đánh giá khả năng TKNL và rút ngắn TGS

So sánh với chế độ sấy liên tục 37°C (độ ẩm 30%, tốc độ 1 m/s)

Bảng 3 thể hiện kết quả so sánh các chế độ SGD có TGS và lượng nhiệt hấp thụ bởi VLS thấp hơn so với chế độ sấy liên tục 37°C (30%, 1 m/s). Kết quả cho thấy, tồn tại các QTS gián đoạn với nhiệt độ TNS giảm dần theo bậc vừa rút ngắn được TGS vừa có khả năng TKNL. QTS TKNL lớn nhất là 19,69% ứng với TGS rút ngắn là 1,87%. Khả năng rút ngắn TGS lớn nhất là 4,52% ứng với khả năng TKNL là 8,03%.

Bảng 3: so sánh với chế độ sấy liên tục 37°C

STT	Nhiệt độ TNS (°C)	Khoảng thời gian giảm nhiệt độ (phút)	Độ giảm nhiệt độ (°C)	Thời gian sấy (phút)	Lượng nhiệt VLS hấp thụ (kJ/m²)	Nhiệt độ VLS cuối QTS (°C)	Nhiệt độ TNS cuối QTS (°C)	Mức độ rút ngắn TGS (%)	Mức độ TKNL (%)
1	37	-	-	385,2	386	36,98	37	-	-
2	40	150	3	378,0	310	33,99	34	1,87	19,69
3	40	150	2	367,8	355	35,99	36	4,52	8,03
4	40	140	3	381,6	311	33,98	34	0,93	19,43
5	40	140	2	370,0	355	35,98	36	3,95	8,03
6	40	130	3	384,8	312	33,90	34	0,10	19,17
7	40	130	2	372,0	355	35,98	36	3,43	8,03
8	40	125	2	373,0	356	35,98	36	3,17	7,77

So sánh với chế độ sấy liên tục 40°C (độ ẩm 30%, tốc độ 1 m/s)

Bảng 4 thể hiện kết quả so sánh các chế độ SGD có lượng nhiệt hấp thụ bởi VLS thấp hơn so với chế độ sấy liên tục 40°C (30%, 1 m/s). Kết quả cho thấy, tất cả các QTS nhiệt độ giảm dần theo bậc đều có TGS dài hơn so với QTS liên tục ở cùng nhiệt độ 40°C. Tuy vậy, tồn tại các QTS gián đoạn với nhiệt độ TNS giảm dần theo bậc có khả năng TKNL cao (tới 19,86% năng lượng) trong khi đó TGS tổng chỉ tăng 5,09%.

Bảng 4: so sánh với chế độ sấy liên tục 40°C

STT	Nhiệt độ TNS (°C)	Khoảng thời gian giảm nhiệt độ (phút)	Độ giảm nhiệt độ (°C)	Thời gian sấy (phút)	Lượng nhiệt VLS hấp thụ (kJ/m²)	Nhiệt độ VLS cuối QTS (°C)	Nhiệt độ TNS cuối QTS (°C)	Mức độ tăng TGS (%)	Mức độ TKNL (%)
1	40	-	-	350,0	443	39,98	40	-	-
2	40	180	1	355,6	421	38,98	39	1,60	4,97
3	40	150	2	367,8	355	35,99	36	5,09	19,86
4	40	150	1	358,4	398	37,99	38	2,40	10,16
5	40	140	1	359,4	399	37,98	38	2,69	9,93
6	40	125	1	361,0	399	37,98	38	3,14	9,93
7	40	120	1	361,0	396	37,80	37	3,14	10,61

Kết luận

Những kết quả thu được cho thấy tính ưu việt của việc SGD cả về thời gian cũng như năng lượng. Trong phạm vi nghiên cứu đưa ra, tồn tại chế độ SGD với nhiệt độ TNS giảm dần theo bậc mà TGS có thể rút ngắn được 4,52% và cũng tồn tại chế độ sấy mà năng lượng có thể được tiết kiệm tới 19,86% so với QTS liên tục... Đây là những con số thực sự có ý nghĩa đối với lĩnh vực tiêu hao nhiều năng lượng như kỹ thuật sấy.

Tài liệu tham khảo

[1] Nguyễn Mạnh Hùng (2011). Nghiên cứu khả năng điều chỉnh thông số TNS phục vụ SGD trên hệ thống sấy bơm nhiệt hai nhiệt độ sôi HS-01. Tạp chí Khoa học Giao thông Vận tải, số 35 (9).

[2] Nguyễn Mạnh Hùng (2011). Ứng dụng hệ phương trình truyền nhiệt truyền chất đồng thời với hệ số khuếch tán hiệu quả để nghiên cứu quá trình SGD khoai tây lát mỏng. Tạp chí Khoa học Giao thông Vận tải, số 36 (12).

[3] Nguyễn Mạnh Hùng (2012). Nghiên cứu quá trình truyền nhiệt truyền chất trong hệ thống sấy lạnh sử dụng bơm nhiệt và các giải pháp TKNL. Luận án tiến sĩ kỹ thuật, Trường Đại học Bách khoa Hà Nội.

[4] Trần Văn Phú (2001). Tính toán và thiết kế hệ thống sấy. Nhà xuất bản Giáo dục, Hà Nội.

[5] Arun S. Mujumdar, Chung Lim Law (2010). Drying Technology: Trends and Applications in Postharvest Processing. Food Bioprocess, Technol.

[6] Kumar C., Karim M.A., Joardder M.U.H. (2013). Intermittent Drying of Food Products: A Critical Review, Journal of Food Engineering, doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2013.08.014>.

[7] Sagar V.R., Suresh Kumar P. (2010). Recent advances in drying and dehydration of fruits and vegetables: a review. Association of Food Scientists and Technologists (India).