



KHẢO SÁT SẢN PHẨM KHÍ TỔNG HỢP TRONG LÒ KHÍ HÓA PHỤ PHẨM NÔNG NGHIỆP XUÔI CHIỀU LIÊN TỤC

Nguyễn Đình Tùng^{1*}, Nguyễn Văn Tiến²

Tóm tắt: Bài báo trình bày kết quả khảo sát thực nghiệm đánh giá sản phẩm khí tổng hợp có thể đốt cháy được của lò khí hóa phụ phẩm nông nghiệp (lõi ngô, vỏ trấu) xuôi chiều quy mô công nghiệp. Kết quả cho thấy trong khí tổng hợp syngas của các khí thành phần đạt được như sau: $\text{CO} \approx 15,01\%$, $\text{H}_2 \approx 2,65\%$, $\text{CH}_4 \approx 15,01\%$ (đối với lõi ngô) và $\text{CO} \approx 15,77\%$, $\text{H}_2 \approx 3,02\%$, $\text{CH}_4 \approx 11,6\%$ (đối với vỏ trấu). Nhờ kết quả tối ưu hóa thực nghiệm (ví dụ đối với lõi ngô) đã tìm được các thông số tối ưu để chất lượng khí tổng hợp đạt được tốt nhất, cụ thể các thông số tối ưu: độ ẩm (15,12%); lưu lượng gió (51,52 m³/h); tỷ lệ nhiên liệu tiêu thụ (148,81 Kg/h).

Từ khóa: Khí tổng hợp; lò khí hóa phụ phẩm nông nghiệp; khí hóa xuôi chiều liên tục.

Investigation of syngas production in continuous-flow downdraft agricultural residues gasifier

Abstract: The paper presents the results of an experimental investigation designed to evaluate the syngas quality/syngas production which can be burnt in an industrial continuous-flow downdraft agricultural residues (corn cob, rice husk) gasifier. The results show that the syngas consists of $\text{CO} \approx 15,01\%$, $\text{H}_2 \approx 2,65\%$, $\text{CH}_4 \approx 15,01\%$ (for corn cob) and $\text{CO} \approx 15,77\%$, $\text{H}_2 \approx 3,02\%$, $\text{CH}_4 \approx 11,6\%$ (for rice husk). By results of an experimental optimization (for example corn cob), the optimal parameters required to achieve the best syngas quality are found. The specific optimal parameters are: the moisture content (15.12%); the air flow ratio (51.52 m³/h); the fuel consumption ratio (148.81 kg/h).

Keywords: Syngas; agricultural residues gasifier; continuous downdraft gasification.

Nhận ngày 10/5/2017; sửa xong 7/6/2017; chấp nhận đăng 23/6/2017
Received: May 10, 2017; revised: June 7, 2017; accepted: June 23, 2017



1. Đặt vấn đề

Việt Nam là đất nước sản xuất nông nghiệp, hàng năm sau vụ thu hoạch thải ra môi trường hàng triệu tấn phế phụ phẩm nông nghiệp, trong đó chiếm tỷ trọng nhiều là lõi ngô, vỏ trấu. Theo số liệu của Tổng cục Thống kê, hiện cả nước có khoảng 800.000 ha ngô. Quá trình chế biến nông sản đã thải ra môi trường khoảng 800 nghìn tấn lõi ngô, và khoảng hàng triệu tấn vỏ trấu mỗi năm [1-4]. Lượng phụ phẩm nông nghiệp này phần lớn ở các vùng nông thôn, miền núi, trong số đó một phần được sử dụng làm chất đốt, một phần rất nhỏ được dùng để trồng nấm, còn lại chủ yếu thải ngoài môi trường (vê đường, sông, suối, ao, hồ, ruộng, đồng) gây ô nhiễm môi trường nước (khi bị bỏ thối), gây ô nhiễm môi trường khí và bị trãi hóa đất (khi được đốt bỏ ngay ngoài đồng). Bởi vậy, tìm ra giải pháp công nghệ để tái sử dụng lượng phụ phẩm dư thừa chuyển đổi thành năng lượng nhiệt sơ cấp theo công nghệ khí hóa xuôi chiều để tận thu năng lượng nhiệt sử dụng cho sấy nông sản sẽ mang lại hiệu quả kinh tế. Tuy nhiên hiệu quả kinh tế đem lại được sẽ phụ thuộc rất nhiều vào hiệu suất năng lượng nhiệt đạt được. Thực chất là phụ thuộc vào sản phẩm (chất lượng, sản lượng) khí tổng hợp syngas do lò khí hóa đem lại, vì vậy nội dung bài báo này sẽ cho ta rõ hơn về vấn đề nêu trên.



2. Vật liệu, phương pháp và thiết bị nghiên cứu

2.1 Vật liệu nghiên cứu

Phụ phẩm nông nghiệp được sử dụng trong nghiên cứu này là hai loại điển hình chiếm tỷ trọng lớn đó là lõi ngô và vỏ trấu. Với các đặc tính hóa, lý, các thành phần hóa học (hàm lượng của các bon (C), ôxy (O), ni tơ (N), lưu huỳnh (S), tro (a), hàm lượng ẩm (w)... đặc biệt là nhiệt trị thấp của nhiên liệu H_v) có trong 1kg vật liệu (nguyên liệu) như trên Bảng 1 có ảnh hưởng rất lớn đến sản phẩm khí tổng hợp được sinh ra [5-6].

¹PSG.TS, Viện nghiên cứu Thiết kế chế tạo máy nông nghiệp, Bộ Công Thương.

²ThS, Viện nghiên cứu Thiết kế chế tạo máy nông nghiệp, Bộ Công Thương.

*Tác giả chính. E-mail: ndtung.hn@gmail.com.

Bảng 1. Các đặc tính lý - hóa của lõi ngô [1-4]

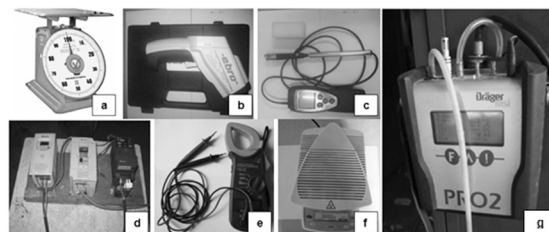
Thành phần (%)	(C)	(H)	(O)	(N)	(S)	(a)	(w)	H_u (MJ/kg)
Lõi ngô	43,6	5,2	41,6	0,15	-	3,05	6,4	15,65
Khối lượng riêng	245 (kg/m ³)							
Vỏ trấu	39,79	5,23	38,63	0,13	-	13,92	2,3	15,20
Khối lượng riêng	145 (kg/m ³)							

2.2 Phương pháp và thiết bị đo trong nghiên cứu

Phương pháp tổng hợp giữa lý thuyết, thực nghiệm và phương pháp quy hoạch thực nghiệm tối ưu được sử dụng trong bài báo này. Ta thấy giá trị và độ chính xác của kết quả thực nghiệm chịu ảnh hưởng bởi nhiều yếu tố, trong đó có thiết bị đo. Các thiết bị đo như trên Hình 1 gồm: a- cân bàn để xác định khối lượng (VN); b- thiết bị đo nhiệt độ cầm tay kiểu súng bắn (Ebro - CHLB Đức); c- máy đo lưu lượng và vận tốc gió (Testo - CHLB Đức); d- các biến tần điều khiển tốc độ động cơ; e- ampe kim đo điện năng tiêu thụ (CHLB Đức); f- máy đo độ ẩm vật liệu; g- thiết bị đo quan trắc môi trường; ngoài ra còn có các sensor/cảm biến nhiệt độ để theo dõi diễn biến nhiệt độ trong suốt quá trình thực nghiệm.

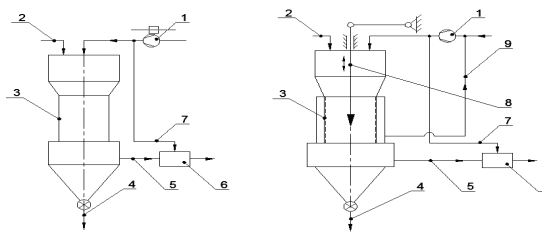
2.3 Thiết bị nghiên cứu

Trên Hình 2 là nguyên lý, kết cấu của hai thiết bị thí nghiệm đó là lò khí hóa lõi ngô, vỏ trấu. Đây là lò khí hóa theo theo nguyên lý xuôi chiều liên tục quy mô công nghiệp. Nguyên liệu được nạp vào từ phía trên đỉnh lò nhờ thiết bị cấp liệu (gầu tải). Ôxy sơ cấp (có trong không khí) được cấp vào lò cho quá trình khí hóa nhờ quạt gió cũng theo chiều nạp liệu từ trên xuống, quá trình khí hóa được diễn ra tới lúc khí tổng hợp syngas sinh ra sẽ được lấy mẫu để phân tích tỷ lệ các thành phần khí và đo trực tiếp bằng thiết bị đo quan trắc điện tử hiện số. Khí tổng hợp syngas liên tục được sinh ra và được dẫn đưa ra ngoài lò nhờ hệ thống ống dẫn khí gas để đưa đến buồng đốt. Tại buồng đốt khí tổng hợp syngas được đốt cháy khi có lượng oxy thứ cấp có trong không khí khi được cấp cường bức vào để đốt cháy thành ngọn lửa. Đối với tro sẽ được thải ra theo đường dưới đáy lò. Quá trình cấp ôxy (có trong không khí) nạp liệu, xả tro, và sinh khí syngas được diễn ra liên tục từ khi bắt đầu hoạt động cho đến khi có nhu cầu dừng lò [2,4].



Hình 1. Thiết bị đo và phân tích khí quan trắc môi trường khi thực nghiệm

a) Cân bàn (VN); b) Thiết bị đo nhiệt độ cầm tay (CHLB Đức); c) Máy đo lưu lượng và vận tốc gió (CHLB Đức); d) Các biến tần; e) Ampe kim; f) Máy đo độ ẩm vật liệu; g) Thiết bị đo quan trắc môi trường.



Hình 2. Nguyên lý kết cấu hai thiết bị thí nghiệm: lò khí hóa lõi ngô (trái); lò khí hóa vỏ trấu [2,4]

1. Quạt cấp gió; 2. Cấp nhiên liệu; 3. Thiết bị khí hóa; 4. Đường xả tro; 5. Đường ra khí syngas; 6. Buồng đốt khí syngas; 7. Đường cấp gió thứ cấp; 8. Cơ cấu xọc tro; 9. Đường hồi khí nóng.



3. Kết quả nghiên cứu và bàn luận

3.1 Kết quả nghiên cứu thực nghiệm xác định các thành phần khí (CO , H_2 , CH_4 ...)

Kết quả thực nghiệm đối với quá trình khí hóa lõi ngô thông qua lấy mẫu sản phẩm khí syngas đưa đi phân tích tại phòng thí nghiệm của "Công ty cổ phần công nghệ thân thiện môi trường Bách khoa", kết quả phân tích xác định nồng độ của các thành phần khí (CO , H_2 , CH_4 ...) thể hiện như trên Bảng 2.

Đánh giá sản phẩm khí tổng hợp syngas dựa trên tỉ lệ các khí thành phần (CO , H_2 , CH_4) có trong khí Syngas. Kết quả cho thấy giá trị trung bình về tỷ lệ của các khí này như sau: khí CO (15,01%), khí H_2 (2,65%), khí CH_4 (10,9%) (đối với lõi ngô). Tương tự đối với nguyên liệu vỏ trấu kết quả thực nghiệm cho thấy giá trị đạt được của các thành phần khí CO (15,77%), H_2 (3,02%), CH_4 (11,6%) (đối với vỏ trấu). Qua đây cho thấy sự khác biệt không nhiều đối với tỷ lệ của thành phần khí CO và H_2 , có sự khác nhau (tuy không nhiều) đối với thành phần khí CH_4 . Bởi vậy việc xác định giá trị tối ưu đối với các thành phần khí này

tác giả sử dụng phương pháp quy hoạch thực nghiệm đối với nguyên liệu lõi ngô làm đại diện thay vì cho cả hai loại nguyên liệu. Sử dụng phương pháp này nhằm tối ưu hóa quá trình khí hóa với mục tiêu lựa chọn các giá trị đầu vào có độ tin cậy cao.

Bảng 2. Kết quả thực nghiệm kiểm tra thành phần khí khói đối với lõi ngô

Lần đo	Vị trí lấy mẫu	Kết quả đo thành phần khí			Đơn vị	Ghi chú
		CO	H ₂	CH ₄		
1	Trên đường ống dẫn khí ra của hệ thống lò	17,02	3,23	12,31	%	
2		17,32	3,17	12,22	%	
3		16,44	3,15	12,19	%	
4		11,93	2,20	8,90	%	
5		8,22	0,86	6,72	%	
6		16,24	3,13	12,31	%	
7		16,44	3,16	12,22	%	
8		16,39	3,15	12,18	%	
9		15,12	1,80	9,08	%	
TB		15,01	2,65	10,90	%	

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

Chất lượng các thành phần khí CO, H₂, CH₄ có trong khí tổng hợp được sinh ra là sản phẩm của lò khí hóa trong quá trình thực nghiệm chịu ảnh hưởng rất nhiều bởi các yếu tố công nghệ, đó là độ ẩm của vật liệu thí nghiệm, lưu lượng gió cấp, tỷ lệ nhiên liệu tiêu thụ. Do có nhiều biến số (thông số) thay đổi với nhiều mức khác nhau, muốn giảm số lượng thí nghiệm mà vẫn đảm bảo chính xác kết quả, cần phải sử dụng phương pháp quy hoạch thực nghiệm, từ đó xác định được các thông số tối ưu làm cơ sở thiết lập quy trình vận hành để tạo ra sản phẩm phù hợp với nghiên cứu thực tiễn. Trong nghiên cứu này, tác giả lựa chọn ma trận Box-Behnken với 3 yếu tố ảnh hưởng đã được mã hóa sử dụng cho nghiên cứu đối với lò khí hóa liên tục. Yếu tố ảnh hưởng đã được mã hóa như X₁ là độ ẩm vật liệu/lõi ngô (%), X₂ là lưu lượng gió (m³/h) và X₃ là tỷ lệ nhiên liệu tiêu thụ (kg/h). Tiến hành thực nghiệm theo phương án xây dựng các hàm toán dựa trên các phương trình hồi quy dưới dạng các đa thức bậc 2. Kết quả thực nghiệm một số yếu tố ảnh hưởng tới quá trình khí hóa, theo ma trận Box-Behnken được thể hiện trong bảng sau:

Bảng 3. Giá trị mã hóa của các yếu tố khi thực nghiệm khí hóa lõi ngô

Biến số	Kí hiệu	Đơn vị	Mức		
			-1	0	1
Độ ẩm vật liệu/lõi ngô	X ₁	%	10	13	16
Lưu lượng gió	X ₂	m ³ /h	50	55	60
Tỷ lệ nhiên liệu tiêu thụ	X ₃	kg/h	100	125	150

Trên Bảng 3 cho thấy độ ẩm vật liệu biến thiên trong khoảng 10 - 16% ẩm, lưu lượng gió biến thiên trong khoảng 50 - 60m³/h và lượng nhiên liệu tiêu thụ trong quá trình khí hóa biến thiên trong khoảng 100 - 150kg/h.

Mặt khác chất lượng quá trình khí hóa được đánh giá qua 3 yếu tố như Y₁ là tỷ lệ lượng khí CO (%), Y₂ là tỷ lệ lượng khí H₂ (%); Y₃ là tỷ lệ lượng khí CH₄ (%). Tiến hành xây dựng hàm hồi quy bậc 2 cho các mục tiêu Y₁; Y₂; Y₃ như sau:

$$Y_1 = a_0 + a_1X_1 + a_2X_2 + a_3X_3 + a_{11}X_1^2 + a_{22}X_2^2 + a_{33}X_3^2 + a_{12}X_1X_2 + a_{13}X_1X_3 + a_{23}X_2X_3 \quad (1)$$

$$Y_2 = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + b_3X_3 + b_{11}X_1^2 + b_{22}X_2^2 + b_{33}X_3^2 + b_{12}X_1X_2 + b_{13}X_1X_3 + b_{23}X_2X_3 \quad (2)$$

$$Y_3 = c_0 + c_1X_1 + c_2X_2 + c_3X_3 + c_{11}X_1^2 + c_{22}X_2^2 + c_{33}X_3^2 + c_{12}X_1X_2 + c_{13}X_1X_3 + c_{23}X_2X_3 \quad (3)$$

Trong nghiên cứu này tác giả sử dụng quy hoạch Box-Behnken với các thông số biến đổi ở 3 mức. Sử dụng miền quy hoạch siêu khối vuông với các giá trị mã hóa của thông số là -1, 0, +1 được xây dựng theo phân tích phương sai. Ở đây gồm phần cơ bản và một số điểm thí nghiệm trung tâm. Phần cơ bản là

bộ chọn, xác định từ các cột của thực nghiệm toàn phần 3ⁿ. Kết quả xây dựng ma trận thực nghiệm tối ưu hóa quá trình khí hóa theo quy hoạch Box-Behnken khi $n = 3$ đối với lõi ngô như trên Bảng 4.

Bảng 4. Ma trận thực nghiệm tối ưu hóa quá trình khí hóa theo quy hoạch Box-Behnken đối với lõi ngô

N°Exp	X_1	X_2	X_3	Y_1	Y_2	Y_3
1	-1.0000	-1.0000	0.0000	13.61	1.67	8.54
2	1.0000	-1.0000	0.0000	16.12	3.23	11.85
3	-1.0000	1.0000	0.0000	12.97	2.60	9.10
4	1.0000	1.0000	0.0000	17.32	2.87	12.35
5	-1.0000	0.0000	-1.0000	12.37	2.10	8.50
6	1.0000	0.0000	-1.0000	17.38	3.25	11.60
7	-1.0000	0.0000	1.0000	14.64	2.06	7.60
8	1.0000	0.0000	1.0000	17.25	3.15	12.10
9	0.0000	-1.0000	-1.0000	14.38	2.50	9.72
10	0.0000	1.0000	-1.0000	15.05	2.63	11.68
11	0.0000	-1.0000	1.0000	16.64	2.75	11.05
12	0.0000	1.0000	1.0000	17.01	2.90	11.75
13	0.0000	0.0000	0.0000	15.53	3.10	10.69
14	0.0000	0.0000	0.0000	15.64	2.89	9.56
15	0.0000	0.0000	0.0000	15.53	3.13	10.25

Xây dựng bảng giá trị hệ số hồi quy của các hàm mục tiêu như bảng sau:

Bảng 5. Giá trị hệ số hồi quy hàm mục tiêu

Hệ số hồi quy hàm Y_1		Hệ số hồi quy hàm Y_2		Hệ số hồi quy hàm Y_3	
Hệ số	Giá trị	Hệ số	Giá trị	Hệ số	Giá trị
a_0	15,567	b_0	3,040	c_0	10,167
a_1	1,810	b_1	0,509	c_1	1,770
a_2	0,200	b_2	0,106	c_2	0,645
a_3	0,795	b_3	0,048	c_3	0,125
a_{11}	-0,461	b_{11}	-0,251	c_{11}	-0,403
a_{22}	-0,101	b_{22}	-0,196	c_{22}	0,697
a_{33}	0,304	b_{33}	-0,149	c_{33}	0,187
a_{12}	0,460	b_{12}	-0,323	c_{12}	-0,015
a_{13}	-0,600	b_{13}	-0,015	c_{13}	0,350
a_{23}	-0,075	b_{23}	0,005	c_{23}	-0,315

Từ đó ta xác định được các phương trình hồi quy (1), (2), (3) như sau:

Phương trình hồi quy tỷ lệ lượng khí CO sinh ra:

$$Y_1 = 15,567 + 1,81X_1 + 0,2X_2 + 0,795X_3 - 0,461X_1^2 - 0,101X_2^2 + 0,304X_3^2 + 0,46X_1X_2 - 0,6X_1X_3 - 0,075X_2X_3 \quad (4)$$

Phương trình hồi quy tỷ lệ lượng khí H_2 sinh ra:

$$Y_2 = 3,04 + 0,509X_1 + 0,106X_2 + 0,048X_3 - 0,251X_1^2 - 0,196X_2^2 - 0,149X_3^2 - 0,323X_1X_2 - 0,015X_1X_3 + 0,005X_2X_3 \quad (5)$$

Phương trình hồi quy tỷ lệ lượng khí CH_4 sinh ra:

$$Y_3 = 10,167 + 1,77X_1 + 0,465X_2 + 0,125X_3 - 0,403X_1^2 + 0,697X_2^2 + 0,187X_3^2 - 0,015X_1X_2 + 0,35X_1X_3 - 0,315X_2X_3 \quad (6)$$

Trên cơ sở này thiết lập các mô hình biểu diễn các giá trị từ các phương trình hồi quy trên.

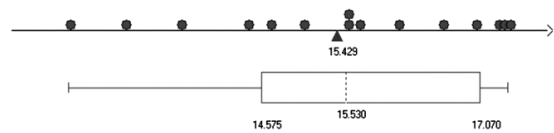
- Thiết lập mô hình tỷ lệ lượng khí CO: Với mô hình tỷ lệ lượng khí CO sinh ra của quá trình được biểu diễn theo phương trình (1). Giá trị các hệ số hồi quy được thể hiện trong Bảng 5. Từ đây ta có mô hình đánh

giá tỷ lệ lượng khí CO như Hình 3. Từ hệ số xác định $R^2 = 0,982$, hệ số điều chỉnh $R_A^2 = 0,949$ cho thấy mô hình hoàn toàn tương thích với thực nghiệm.

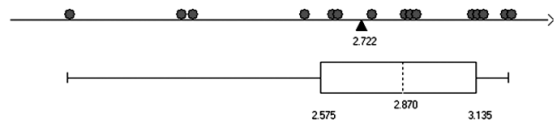
- Thiết lập mô hình tỷ lệ lượng khí H_2 : Mô hình tỷ lệ lượng khí H_2 sinh ra của quá trình được biểu diễn theo phương trình (2). Giá trị các hệ số hồi quy được thể hiện trong Bảng 5. Từ đây ta có mô hình đánh giá tỷ lệ lượng khí H_2 như Hình 4. Từ hệ số xác định $R^2 = 0,961$, hệ số điều chỉnh $R_A^2 = 0,892$ cho thấy mô hình hoàn toàn tương thích với thực nghiệm.

- Thiết lập mô hình tỷ lệ lượng khí CH_4 : Mô hình tỷ lệ lượng khí CH_4 sinh ra của quá trình được biểu diễn theo phương trình (3) cùng với giá trị các hệ số hồi quy được thể hiện trong Bảng 5 ta có mô hình đánh giá tỷ lệ lượng khí CH_4 như Hình 5. Từ hệ số xác định $R^2 = 0,953$, hệ số điều chỉnh $R_A^2 = 0,868$ cho thấy mô hình hoàn toàn tương thích với thực nghiệm.

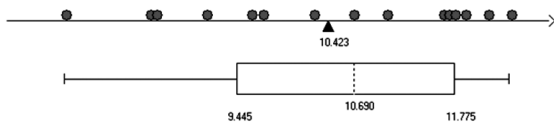
- Tối ưu hóa: Bài báo sử dụng phương pháp tối ưu hóa dựa trên phương pháp “dựa vào mô hình thực nghiệm mà không sử dụng phương pháp dò tìm” trong điều kiện khi mà hàm tối ưu $Y(X)$ chưa biết, nhưng ở đây dựa vào kết quả đo được các giá trị Y trong các tổ hợp khác nhau của các thông số $X_1, X_2, X_3, \dots, X_n$. Kết quả tiến hành tối ưu hóa các yếu tố ảnh hưởng tới tỷ lệ lượng khí sinh ra của quá trình khí hóa theo thuật toán hàm mong đợi với 3 hàm mục tiêu như sau: Tỷ lệ lượng khí CO, khí H_2 , và khí CH_4 mong đợi cần đạt được lớn nhất. Kết quả tối ưu hóa được thể hiện qua Bảng 6.



Hình 3. Mô hình đánh giá tỷ lệ lượng khí CO



Hình 4. Mô hình đánh giá tỷ lệ lượng khí H_2



Hình 5. Mô hình đánh giá tỷ lệ lượng khí CH_4

Bảng 6. Chế độ công nghệ tối ưu của quá trình khí hóa lõi ngô

Biến số	Giá trị	Đơn vị
Độ ẩm vật liệu / lõi ngô	15,12	%
Lưu lượng gió	51,52	m ³ /h
Tỷ lệ nhiên liệu tiêu thụ	148,81	Kg/h

Bảng 7. Thống kê kết quả tối ưu của quá trình khí hóa lõi ngô

Kết quả	Giá trị tính toán	Độ lệch chuẩn	Giá trị nhỏ nhất	Giá trị lớn nhất	Giá trị trung bình	đi%
Tỷ lệ lượng khí CO	16,88	1,599	12,370	17,380	14,875	99,98
Tỷ lệ lượng khí H_2	3,16	0,472	1,670	3,250	2,460	96,75
Tỷ lệ lượng khí CH_4	11,97	1,512	7,600	12,350	9,975	99,96
Hàm mong đợi chung (D)						98,90

Căn cứ kết quả trên Bảng 6 cho thấy độ ẩm vật liệu được lựa chọn là 15,12% ở độ ẩm này thì tỷ lệ nhiên liệu tiêu thụ là 148,81 Kg/h và lưu lượng gió cần cung cấp cho quá trình khí hóa là 51,52 m³/h. Với các tỷ lệ này quá trình khí hóa đã đạt được hiệu quả mong đợi, điều kiện tối ưu này cũng tương đối phù hợp với kết quả thực nghiệm. Kết quả ở Bảng 7 cũng cho thấy khả năng đạt được hàm tối ưu của tỷ lệ lượng khí CO là 99,98%, của tỷ lệ lượng khí H_2 là 99,96%, hàm mục tiêu của tỷ lệ lượng khí CH_4 là 96,75%. Xét chung các mục tiêu thì hàm mong đợi đạt được 98,90%.



4. Kết luận

Kết quả khảo sát thực nghiệm quá trình khí hóa đối với hai loại phụ phẩm nông nghiệp chính là lõi ngô và vỏ trấu cho thấy, tỷ lệ của các khí thành phần chính trong khí tổng hợp đạt được như sau: CO $\approx$ 15,01%, $H_2 \approx$ 2,65%, $CH_4 \approx$ 10,9% (đối với lõi ngô) và CO $\approx$ 15,77%, $H_2 \approx$ 3,02%, $CH_4 \approx$ 11,6% (đối với vỏ trấu), tỷ lệ này đạt được tương đối cao so với kết quả khí hóa sinh khối nói chung. Dựa trên kết quả thực nghiệm và quy hoạch thực nghiệm tối ưu đối với nguyên liệu lõi ngô cho thấy tỷ lệ các thành phần khí có trong khí tổng hợp tương ứng như sau: khí CO (15,01% và 14,9%), khí H_2 (2,65% và 2,5%), khí CH_4 (10,9% và 10%). Qua đó cho thấy độ chênh lệch kết quả không nhiều, điều này chứng tỏ mô hình thống kê thực nghiệm đạt được kết quả tối ưu với các thông số như: độ ẩm (15,12%); lưu lượng gió (51,52m³/h); tỷ lệ nhiên liệu tiêu thụ (148,81 Kg/h).

Tài liệu tham khảo

1. Tung N.D. (2009), *Theoretische und experimentelle Untersuchungen zur energetische Nutzung von landwirtschaftlichen Abfällen aus Vietnam*, Dissertation Universität Rostock, Deutschland.
2. Nguyễn Đình Tùng, cs. (2014), *Nghiên cứu thiết kế, chế tạo lò khí hóa liên tục phụ phẩm nông nghiệp (vỏ trấu, lõi ngô) quy mô công nghiệp*, Báo cáo tổng kết Đề tài nghiên cứu cấp Nhà Nước, Bộ Công thương.
3. Tung N.D. (2009), "Present State, Potential and the Future of electrical Power Generation from Biomass Residues in Vietnam", *Agricultural Engineering International*, the CIGR Ejournal, 11:1-12.
4. Nguyễn Đình Tùng, Nguyễn Văn Thành (2012), "Nghiên cứu, thiết kế và chế tạo lò khí hóa vỏ trấu hoạt động liên tục", *Tạp chí Cơ khí Việt Nam*, (10):56-61.
5. Kaltschmitt M., Hartmann H., Hofbauer H. (2011), *Energie aus Biomasse*, 3 Auflage, Springer Berlin Verlag Springer Verlag.
6. Zainal Z.A., Rifau A., Quadir G.A., at al. (2002), "Experimental Investigation of a downdraft biomass gasifier", *Biomass & Bioenergy*, (23):283-289.