

# MỘT SỐ GIẢI PHÁP NÂNG CAO HIỆU SUẤT CỦA HỆ THỐNG LÒ HƠI CÔNG NGHIỆP SỬ DỤNG NHIÊN LIỆU RẮN HOẶC KHÍ

NGUYỄN THANH QUANG

Khoa Công nghệ Nhiệt lạnh, Trường Đại học Công nghiệp Thành phố Hồ Chí Minh  
nguyenthanhquang@iuh.edu.vn

DOIs: <https://doi.org/10.46242/jstih.v61i07.4717>

**Tóm tắt.** Lò hơi công nghiệp đốt nhiên liệu rắn và khí được sử dụng rộng rãi để cung cấp hơi bão hòa cho quá trình sản xuất. Việc sử dụng nhiên liệu rắn có thành phần và độ ẩm khác nhau ảnh hưởng lớn đến hiệu suất và chi phí sản xuất nhiệt. Bài báo trình bày nghiên cứu quá trình trao đổi nhiệt trong lò hơi cho nhiên liệu độ ẩm cao là sinh khối và than nâu Indonesia và đề xuất một số giải pháp kỹ thuật nhằm nâng cao hiệu suất. Kết quả cho thấy, lò hơi áp suất 8 bar đốt sinh khối, tiêu hao nhiên liệu tăng từ 200 lên 350 kg/ tấn hơi với độ ẩm 10% và 40% và tăng nhanh khi độ ẩm > 40%, mức ẩm hợp lý là < 20 %. Hiệu suất lò giảm đến 10% khi độ ẩm chênh lệch 30%. Đối với than, hiệu suất lò giảm 1,2%, tiêu hao nhiên liệu tăng khoảng 10% khi độ ẩm tăng 5%. Thu hồi nhiệt khi đốt khí tự nhiên là 9,63% và khí hóa lỏng là 8,18%. Kết quả đạt được là cơ sở tham khảo cho hệ thống lò hơi công nghiệp hiện có ở Việt Nam, góp phần tăng hiệu quả sử dụng nhiệt và giảm chi phí sản xuất hơi.

**Từ khóa.** hệ thống nhiệt, lò hơi, hiệu suất lò hơi, nhiên liệu rắn, sinh khối

## 1 ĐẶT VẤN ĐỀ

Hiện nay chương trình quốc gia về sử dụng tiết kiệm và hiệu quả năng lượng đang được triển khai mạnh mẽ ở Việt Nam. Theo chỉ thị số 20/CT-TTg, giai đoạn 2020 – 2025, mục tiêu cả nước phải tiết kiệm được tối thiểu 2,0% tổng lượng điện sử dụng [1]. Một trong các nội dung là nâng cao hiệu suất của các thiết bị nhiệt trong đó có lò hơi, đặc biệt đối với các lò hơi đã đưa vào hoạt động. Cho đến nay, việc sử dụng sinh khối (biomass) như một loại nhiên liệu cho lò hơi đang phát triển nhanh tại Việt Nam, với tiềm năng khai thác dồi dào của nguồn nguyên liệu sinh khối lên đến khoảng 150 triệu tấn/ năm [2]. Sự chuyển đổi nhiên liệu này sẽ góp phần vào mục tiêu trung hòa carbon của chính phủ, giảm tiêu hao nhiên liệu hóa thạch, cũng như đóng góp lớn vào cam kết giảm phát thải khí nhà kính [3]. Các hệ thống lò hơi thường bao gồm buồng đốt, thiết bị sinh hơi, hệ thống phân phối hơi và hệ thống thu hồi nước ngưng. Tuy nhiên phần lớn các lò hơi công nghiệp ở Việt Nam sử dụng công nghệ cũ nên hiệu suất hoạt động còn thấp với dải công suất dao động từ 1 – 300 tấn/ giờ [4]. Một số giải pháp cải tạo, tăng hiệu suất lò hơi, giảm tổn thất của hệ thống đã được đề xuất, bao gồm giải pháp bọc cách nhiệt đường ống và phụ kiện, thu hồi để nước ngưng, làm vệ sinh lò hơi thường xuyên, kiểm tra và phá cặn lò hơi thường xuyên [5], [6], [7]. Các giải pháp này đều có thể thực hiện dễ dàng bởi công nhân vận hành hệ thống lò hơi. Tuy nhiên, ngoài ra còn có những giải pháp đòi hỏi người thực hiện phải có hiểu biết chuyên sâu về ngành nhiệt và lò hơi. Đặc biệt khi lò hơi sử dụng đa dạng nhiên liệu rắn có độ ẩm cao, khác nhau nhiều về thành phần. Nếu quá trình hoạt động của lò hơi không được kiểm soát tốt sẽ ảnh hưởng lớn đến hiệu suất hoạt động và chi phí sản xuất nhiệt tăng cao [4], [5].

Do đó, trong nghiên cứu này tập trung vào quá trình trao đổi nhiệt trong lò hơi và đề xuất một số giải pháp đặc thù có khả năng nâng cao hơn nhiều hiệu suất của hệ thống lò hơi so với các phương pháp kể trên. Cụ thể, quá trình trao đổi nhiệt trong lò hơi được tính toán cho hai nhiên liệu đại diện có độ ẩm cao là sinh khối và than nâu Indonesia. Các thông số ảnh hưởng đến tiêu thụ năng lượng cho hệ thống lò hơi công nghiệp được phân tích và đánh giá, bao gồm ảnh hưởng của áp suất hơi đến tỉ lệ nước ngưng hóa hơi, ảnh hưởng của nhiệt độ nước cấp đến tỉ lệ tiết kiệm năng lượng, ảnh hưởng của nhiên liệu và độ ẩm đến tiêu hao nhiên liệu. Đồng thời, tính toán tận dụng nhiệt ẩn ngưng tụ của hơi nước trong khói cho nhiên liệu khí tự nhiên và khí hóa lỏng cũng được xem xét.

## 2 VẬT LIỆU VÀ PHƯƠNG PHÁP

### 2.1 Đặc tính nhiên liệu sinh khối và than

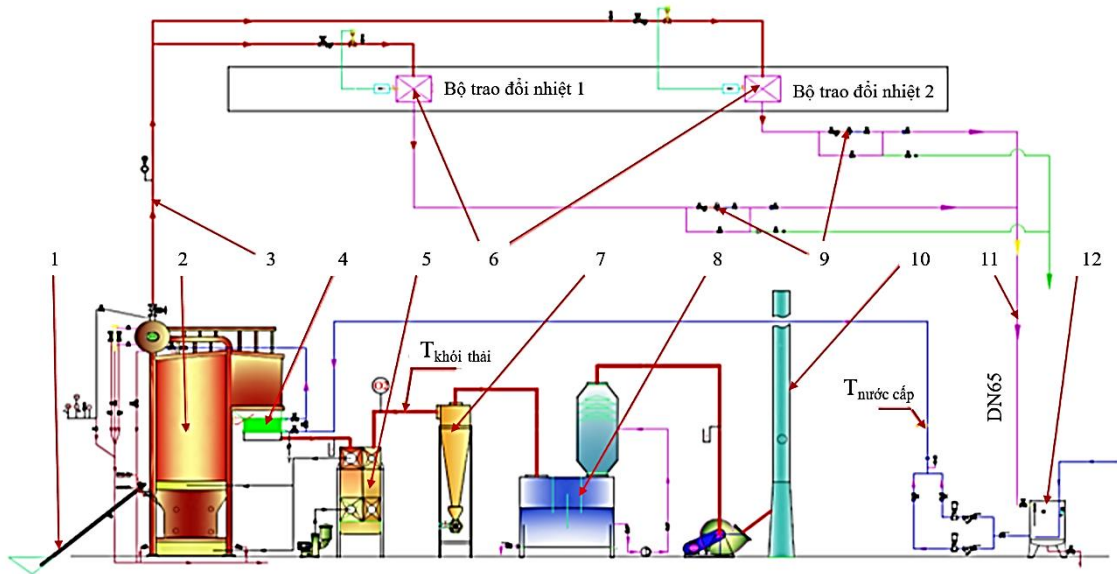
Nhiên liệu được đánh giá trong nghiên cứu này gồm sinh khối và than nâu nhập khẩu từ Indonesia, có độ ẩm cao, không ổn định. Ở điều kiện khô, thành phần phân tích nguyên tố và nhiệt trị của nhiên liệu được trình bày trong Bảng 1. Số liệu phân tích cho thấy, than có hàm lượng nito (N) và lưu huỳnh (S) lớn hơn sinh khối. Trong khi đó, hàm lượng cacbon của than là cao hơn (72%), so với sinh khối là 49,5%. Điều này cho thấy nhiệt trị của than cũng cao hơn sinh khối. Giá trị đo được ở điều kiện khô cho thấy, nhiệt trị thấp của than là 28640 kJ/kg và của sinh khối là 18760 kJ/kg.

Bảng 1: Phân tích thành phần và nhiệt trị nhiên liệu khô [8]

Đại lượng	Giá trị (kl.%)	
	Sinh khối	Than Indonesia
Carbon (C)	49,5	72,0
Hydro (H)	06,5	4,90
Nito (N)	0,40	1,20
Oxy (O)	43,0	9,30
Lưu huỳnh (S)	0,00	1,40
Độ tro (A)	0,60	11,2
Nhiệt trị thấp ở điều kiện khô (kJ/kg), $Q^{khô}$	18760	28640

### 2.2 Sơ đồ hệ thống lò hơi công nghiệp

Hình 1 trình bày sơ đồ một hệ thống lò hơi công nghiệp cấp nhiệt cho hệ tiêu thụ được lựa chọn phân tích trong nghiên cứu này. Hệ thống bao gồm lò hơi (năng suất 6 tấn hơi/ giờ, áp suất làm việc 12 bar), ống dẫn hơi, hệ tiêu thụ nhiệt (calorifer), hệ thống ống dẫn nước ngưng, bình chứa nước ngưng. Buồng đốt được thiết kế dùng nhiên liệu mùn cưa/ than Indonesia. Nhiên liệu được cấp liên tục vào buồng đốt lò hơi nhờ băng tải (1). Quá trình cháy nhiên liệu xảy ra trong buồng đốt lò hơi (2), khói sau đó qua bộ hâm nước (4), bộ sấy không khí (5), qua thiết bị tách bụi khô (7), tách bụi ướt (8) và thải ra khỏi ống khói (10). Hơi cấp từ lò đi theo ống dẫn hơi (3), qua thiết bị trao đổi nhiệt (6) cấp nhiệt cho công nghệ, nước ngưng sau đó được cụm van (9) tách ra và dẫn về qua ống (11) đến bình chứa nước ngưng – nước cấp (12) trước khi cấp lại vào lò hơi, nước bổ sung cho lò sẽ đưa vào bình chứa này. Các điều kiện và tham số liên quan đến phân tích này, bao gồm (a) nhiên liệu cấp liên tục vào buồng đốt có độ ẩm nhất định, (b) vòng tuần hoàn hơi – nước khép kín, tổn thất hơi – nước nhỏ. Thông số vận hành gồm nhiệt độ nước cấp vào buồng đốt  $T_{nước\ cấp}$ ; nhiệt độ khói và nồng độ oxy ra khỏi bộ sấy không khí  $T_{khói}$ ,  $O_2$ .



1. Băng tải cấp nhiên liệu; 2. Lò hơi; 3. Ống cấp hơi; 4. Bộ hâm nước; 5. Bộ sấy không khí; 6. Dàn trao đổi nhiệt; 7. Cyclon thu bụi; 8. Thiết bị rửa khói; 9. Cụm van xả nước ngưng; 10. Ống khói; 11. Ống nước ngưng về; 12. Bình chứa nước ngưng - nước cấp

Hình 1: Sơ đồ nguyên lý hệ thống lò hơi cấp nhiệt (cho phép của Công ty TNHH Kỹ Thuật Cơ Khí Năng Lượng Môi Trường Đại Phát)

### 2.3 Phương pháp tính toán

Trong nghiên cứu này, các thông số ảnh hưởng đến tiêu thụ năng lượng cho hệ thống lò hơi công nghiệp được tính toán và đánh giá, bao gồm ảnh hưởng của áp suất hơi đến tỉ lệ nước ngưng hóa hơi, ảnh hưởng của nhiệt độ nước cấp đến tỉ lệ tiết kiệm năng lượng, ảnh hưởng của nhiên liệu và độ ẩm đến tiêu hao nhiên liệu. Dải áp suất làm việc thông dụng của lò hơi trong công nghiệp từ 6-12 bar và áp suất hơi sử dụng thông dụng trong công nghiệp từ 3 đến 10 bar. Đồng thời, tính toán tận dụng nhiệt ẩn ngưng tụ của hơi nước trong khói cho nhiên liệu khí tự nhiên và khí hóa lỏng cũng được đánh giá. Tỉ lệ nước ngưng hóa hơi được xác định theo công thức (1)

$$g = \frac{i'_p - i'_0}{i''_0 - i'_0} \quad (1)$$

Với  $i'_p$ : entanpy nước ngưng có áp suất p trước van tách, kJ/kg;  $i'_0$ : entanpy nước ngưng có áp suất khí quyển sau van tách, kJ/kg;  $i''_0$ : entanpy của hơi bão hòa ở điều kiện khí quyển, kJ/kg.

Mối liên hệ giữa tỉ lệ tiết kiệm năng lượng và nhiệt độ nước ngưng được tính toán qua công thức (2) và (3). Cụ thể, nhiệt cấp cho sinh ra 1 kg hơi trong lò hơi tính theo công thức (2). Tỉ lệ nhiệt tiết kiệm tính qui đổi cho nước cấp vào lò có nhiệt độ 30 °C tính theo công thức (3) [9].

$$q = i'' - i_{nc} \quad (2)$$

$$\varphi = \frac{(q_{30} - q_t)}{q_{30}} \cdot 100\% = \frac{i_{nc,t} - i_{nc,30}}{i'' - i_{nc,30}} \cdot 100\% \quad (3)$$

Trong đó:  $i''$ : entanpy hơi bão hòa, kJ/kg;  $i_{nc,30}$ : entanpy nước cấp ở 30°C;  $i_{nc,t}$ : entanpy nước cấp ở t°C. Ảnh hưởng của loại và độ ẩm nhiên liệu đến lượng nhiên liệu tiêu thụ cho lò hơi và độ giảm hiệu suất lò hơi được tính toán qua các công thức (4) – (8). Cụ thể, chuyển đổi giữa các thành phần ở điều kiện làm việc (Iv) và điều kiện khô (khô) được tính toán qua công thức (4).

$$X_{Iv} = X_{khô}(1 - W_{Iv}) \quad (4)$$

X là đại diện cho các thành phần nguyên tố C, H, N, O, S, A (kg/kg);  $W_{Iv}$ : độ ẩm ở điều kiện làm việc (kg/kg).

Nhiệt trị thấp của nhiên liệu rắn nói chung có thể xác định bằng biểu thức Mendeleep, theo công thức (5) [9]:

$$Q_t^{Iv} = ((340.C_{Iv} + 1250.H_{Iv} + 110.(S_{Iv} - O_{Iv}))) \cdot 100 - 25 \cdot (9.H_{Iv} + W_{Iv}) \cdot 100; \text{ kJ/kg} \quad (5)$$

Đối với sinh khối, có thể có thể xác định nhiệt trị theo biểu thức 6 [10].

$$Q_t^{Iv} = 18500 \cdot (100 - W_{Iv}) - 2.443 \cdot W_{Iv}; \text{ kJ/kg} \quad (6)$$

Trong đó 18500 (kJ/kg) là nhiệt trị của xenlulose khô.

Tiêu hao nhiên liệu của lò hơi tính theo công thức 7 [9].

$$B = \frac{D(i'' - i_{nc})}{\eta \cdot Q_{t^{IV}}}, \text{ kg/h} \quad (7)$$

Với  $\eta$ : hiệu suất lò hơi, %;  $D$ : năng suất lò hơi, tấn/h;  $i''$ : entanpy hơi bão hòa, kJ/kg;  $i_{nc}$ : entanpy nước cấp, kJ/kg;  $Q_{t^{IV}}$ : nhiệt trị thấp của nhiên liệu rắn, kJ/kg.

Độ giảm hiệu suất lò hơi bằng tỉ lệ nhiệt cần thiết làm bay hơi thêm độ ẩm trong nhiên liệu và có thể xác định theo công thức (8):

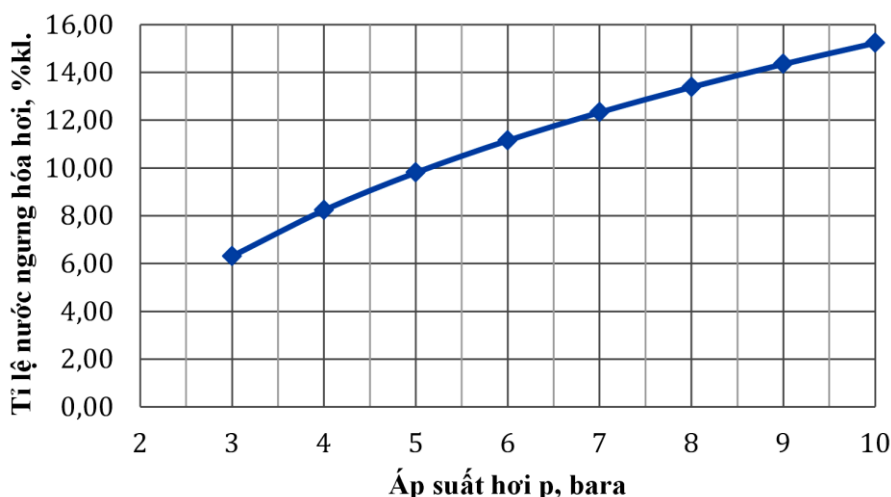
$$\delta = \frac{\Delta\eta}{\eta} = \frac{q_w \cdot W_{IV}}{Q_{t^{IV}}} \cdot 100\% \quad (8)$$

với  $q_w = 2440$  kJ/kg là lượng nhiệt cần thiết để làm bốc hơi 1 kg ẩm trong nhiên liệu đến 150°C;  $W_{IV}$ : độ ẩm ở điều kiện làm việc, kg/kg;  $Q_{t^{IV}}$ : nhiệt trị thấp của nhiên liệu rắn, kJ/kg.

### 3 KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

#### 3.1 Ảnh hưởng của áp suất hơi đến tỉ lệ nước ngưng hóa hơi

Trong hệ tiêu thụ nhiệt, hơi bão hòa sau khi cấp nhiệt sẽ ngưng tụ lại thành nước bão hòa ở cùng áp suất, sau đó được tách ra khỏi hơi bằng van tách nước ngưng tự động và cho chảy về thùng chứa nước ngưng. Từ đây nước ngưng được bơm ngược lại vào lò hơi. Ở hệ thống bình thường, bình chứa nước ngưng thông với khí quyển nên có thể coi áp suất nước ngưng sau van tách bằng áp suất khí quyển. Như vậy có chênh áp suất của nước ngưng qua van tách tương ứng với chênh entanpy của chúng. Do entanpy của nước ngưng trước van lớn hơn entanpy của nước ngưng sau van nên sẽ có một phần nước ngưng sau van sẽ hóa hơi. Hình 2 trình bày kết quả tính toán tỉ lệ nước ngưng hóa hơi thay đổi theo dải áp suất hơi sử dụng thông dụng trong công nghiệp (áp suất hơi từ 3 đến 10 bar).



Hình 2: Tỉ lệ nước ngưng hóa hơi sau van tách

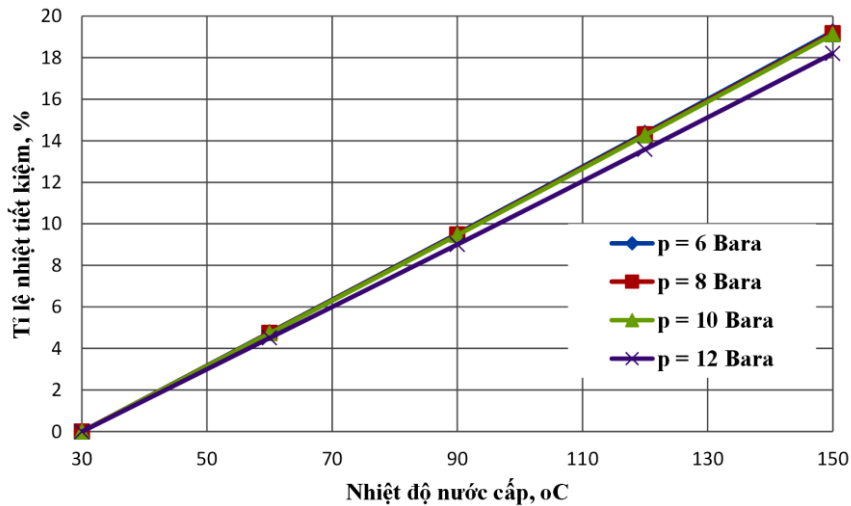
Từ đồ thị cho thấy, đối với lò hơi công nghiệp có áp suất khoảng 8 bar thì lượng nước hóa hơi có thể đến hơn 13%. Trong trường hợp nếu để nước ngưng xả ra ngoài ngay sau van tách thì sẽ có tổn thất nước. Trường hợp đưa về bình chứa nước ngưng thì do có tổn thất nhiệt độ nên lượng hơi sinh ra ít hơn nên ít có tổn thất nước. Nhiệt độ nước ngưng về lò theo lý thuyết bằng 100°C là nhiệt độ sôi của nước ở điều kiện thường. Trong thực tế do tổn thất nhiệt đường ống nên chúng có giá trị khoảng 90 - 95°C. Lượng nhiệt cần để chuyển nước thành hơi trong lò hơi bằng entanpy hơi trừ entanpy nước cấp. Nếu nhiệt độ nước cấp thấp thì lượng nhiệt này cần nhiều hơn. Như vậy nếu nâng được nhiệt độ nước ngưng lên thì sẽ giảm lượng nhiệt cần và tăng hiệu suất của lò hơi. Nước ngưng từ hệ tiêu thụ về có thể giữ áp suất để nâng nhiệt độ lên.

#### 3.2 Ảnh hưởng của nhiệt độ nước cấp đến tỉ lệ tiết kiệm năng lượng

Với dải áp suất làm việc thông dụng của lò hơi trong công nghiệp từ 6-12 bar, có thể tính toán tỉ lệ nhiệt tiết kiệm được khi nâng nhiệt độ nước cấp bằng biện pháp sử dụng bình ngưng cao áp. Hình 3 trình bày kết quả tính tỉ lệ lượng nhiệt tiết kiệm được so với sử dụng nước thường ở 30°C cho các áp suất khác nhau từ

## MỘT SỐ GIẢI PHÁP NÂNG CAO HIỆU SUẤT...

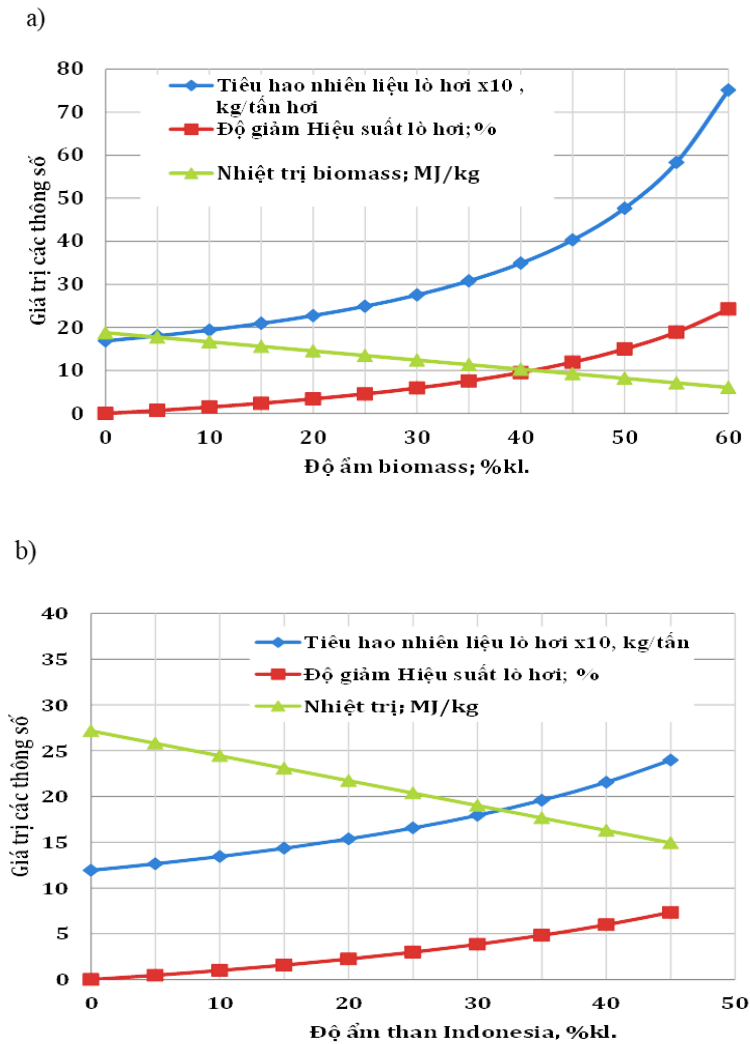
6 – 12 bar. Kết quả từ đồ thị cho thấy, nếu sử dụng nước ngưng có nhiệt độ 90 - 95°C thì tiết kiệm được khoảng 10% lượng nhiệt. Nếu tăng được nhiệt độ nước ngưng từ 95°C lên 130°C có thể tiết kiệm thêm 6% lượng nhiệt. Trong thực tế có áp suất nước ngưng về có thể giữ nhỏ hơn áp suất hơi đi khoảng 4 - 6 bar, như vậy với hơi cấp có áp suất 12 bar thì áp suất nước ngưng về có thể giữ 6 bar, tương ứng với nhiệt độ 158°C. Kết quả cũng cho thấy tỉ lệ nhiệt tiết kiệm không thay đổi nhiều đối với các lò hơi có áp suất khác nhau (Hình 3). Phần lớn các hệ thống có sẵn không có thiết bị có thể giữ được nhiệt độ nước ngưng cao hơn 100°C. Do đó, giải pháp để nâng cao nhiệt độ nước ngưng gồm có (a) cải tạo hệ nước ngưng để chịu được áp và nhiệt độ, (b) lắp đặt thêm bình chứa nước ngưng nhiệt độ cao, và (c) cài đặt chế độ vận hành phù hợp với lò hơi.



Hình 3: Tỉ lệ tiết kiệm khi nâng nhiệt độ nước ngưng

### 3.3 Ảnh hưởng của độ ẩm nhiên liệu đến tiêu hao nhiên liệu

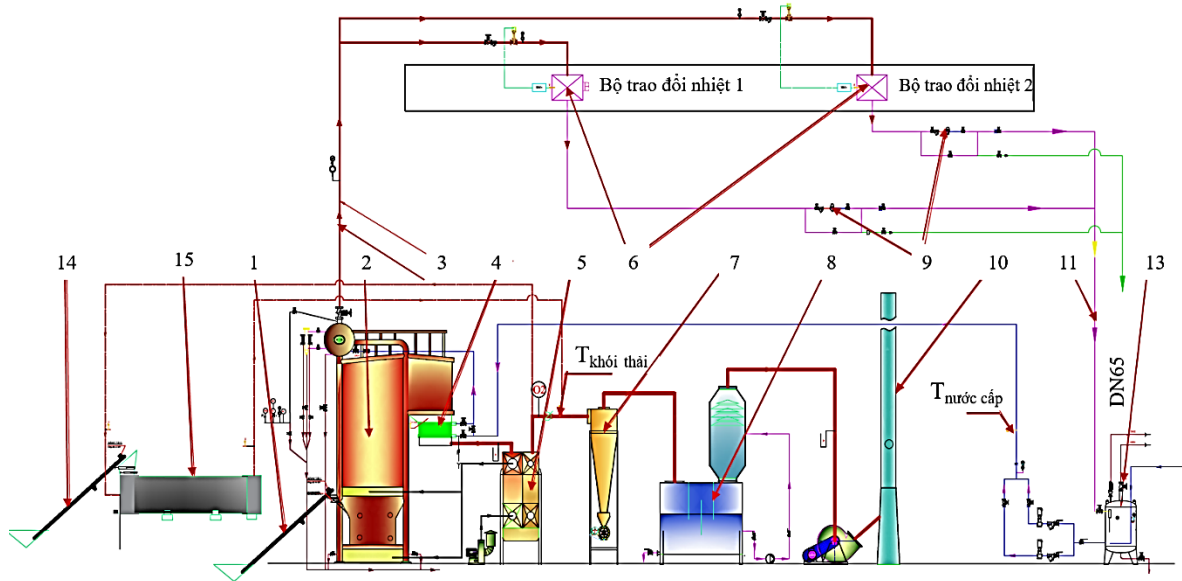
Khi độ ẩm nhiên liệu tăng dẫn đến nhiệt trị của nhiên liệu giảm, do đó tiêu hao nhiên liệu cho lò hơi tăng lên vì cần thêm nhiên liệu để cung cấp nhiệt cho sự bốc hơi nước trong nhiên liệu. Do đó, hiệu suất lò hơi bị giảm, dẫn đến chi phí sản xuất hơi tăng. Trong đánh giá này, độ ẩm nhiên liệu sinh khối thay đổi từ 0 (khô tuyệt đối) đến 60 %. Tính toán cho trường hợp sử dụng nhiên liệu sinh khối cho lò hơi với áp suất 8 bar cho kết quả ở Hình 4 (a). Kết quả cho thấy, nhiệt trị của nhiên liệu xu hướng giảm tuyến tính theo độ ẩm. Trong khi đó, mức độ tiêu hao nhiên liệu tăng nhanh ở những giá trị độ ẩm cao (hơn 40%), hiệu suất lò hơi giảm đến 10% khi độ ẩm chênh lệch 30%. Số liệu cho thấy sử dụng nhiên liệu sinh khối có độ ẩm thấp < 20% cho kết quả tiêu hao nhiên liệu lò hơi thấp, cũng như độ giảm hiệu suất lò hơi thấp (Hình 4(a)). Trong trường hợp sinh khối có độ ẩm cao có thể sấy trước bằng khói lò hơi để giảm xuống dưới 20%. Đối với than nâu Indonesia, kết quả tính toán biểu diễn trên Hình 4 (b). Than Indo nhập khẩu thường có độ ẩm cao trên 36%, phần lớn là độ ẩm liên kết. Tính toán cho thấy khi độ ẩm tăng khoảng 5% (từ 35 - 40%), hiệu suất lò giảm 1,2%, tiêu hao nhiên liệu tăng khoảng 10% (từ 196 lên 216 kg nhiên liệu/tấn hơi).



Hình 4: (a) Ảnh hưởng của độ ẩm nhiên liệu biomass, (b) Ảnh hưởng của độ ẩm than Indonesia

### 3.4 Đánh giá tận dụng nhiệt thừa của lò hơi để sấy nhiên liệu

Lượng nhiệt thừa của lò hơi đặc trưng bởi lưu lượng và nhiệt độ khói thoát ra ngoài ống khói. Hiệu suất lò hơi đốt nhiên liệu rắn từ 70-80%, trong đó có đến khoảng 15-20% là tổn thất do khói thải. Nhiệt độ khói thải thường lớn hơn nhiệt độ hơi 70-80°C. Trong trường hợp sử dụng một phần nhiệt thừa này hiệu suất lò hơi có thể được cải thiện lên đến 3-5%, do đó sẽ tiết kiệm chi phí. Hình 5 biểu diễn sơ đồ nguyên lý hệ thống lò hơi có sấy nhiên liệu và hệ nước ngưng cao áp tại công ty Đại Phát. Kết quả cho thấy khi sử dụng bộ hâm nước và sấy không khí, nhiệt độ khói có thể giảm xuống 150-160°C. Đồng thời, nhiệt từ khói thải cũng được tận dụng để sấy nhiên liệu cấp cho lò hơi (Hình 5 (vị trí 15)), qua đó nhiệt độ khói giảm xuống 60-80°C và độ ẩm nhiên liệu giảm 5-10%. Các ký hiệu còn lại xem trên Hình 1. Trong khi đó, kết quả từ lò hơi đốt than cục 3 năng suất 7 tấn hơi/ giờ, khi lắp bộ hâm nước nhiệt độ khói giảm từ 235 °C đến 170 °C, hiệu suất tăng từ 73,8 % lên 77,2 % [4].



13. Bình chứa nước ngưng cao áp; 14. Băng tải cấp liệu vào; 15. Hệ thống sấy dùng khói lò  
 Hình 5: Sơ đồ hệ thống lò hơi có sấy nhiên liệu và nước ngưng cao áp

### 3.5 Đánh giá tận dụng nhiệt ẩn ngưng tụ của hơi nước trong khói

Trong trường hợp lò hơi đốt nhiên liệu khí thiên nhiên (NG) và khí hóa lỏng (LPG), trong khói còn lẫn rất nhiều hơi nước so với đốt nhiên liệu rắn khác. Đã có nghiên cứu về bộ tiết kiệm nhiệt kiểu ngưng tụ để tận dụng nhiệt ẩn của hơi nước trong khói [1], [11-12]. Trường hợp tổng quát, có thể tận dụng triệt để nhiệt thừa của khói thải bao gồm 2 phần: ngưng tụ phần hơi trong khói, và giảm nhiệt độ của khói khô. Về thực chất đây là biện pháp tận dụng một phần độ chênh giữa nhiệt trị thấp  $Q_t$  và nhiệt trị cao  $Q_c$  của nhiên liệu khí. Ngưng tụ phần hơi trong khói, lượng nhiệt tương đối theo nhiệt trị cao  $Q_c$  tiết kiệm được tính theo công thức (9). Trong khi đó, giảm nhiệt độ của khói khô được tính theo công thức (10). Tổng tỉ lệ thu hồi nhiệt được tính theo công thức (11).

$$q_h = g_h(i''_{150} - i'_{100})/Q_c, \% \quad (9)$$

$$q_k = g_k c_k (150 - 100)/Q_c, \% \quad (10)$$

$$q = q_h + q_k, \% \quad (11)$$

Trong đó:  $g_h, g_k$  lượng hơi nước trong khói và lượng khói khô tương ứng, kg/kgNL;  $i''_{150}, i'_{100}$  lần lượt là entanpy của hơi nước tại 150 °C và 100 °C, tương ứng, kJ/kg;  $c_k$  là nhiệt dung riêng của khói, kJ/kgK;  $Q_c$  là nhiệt trị cao của nhiên liệu, kJ/kgNL;  $q_h, q_k$  là tỉ lệ thu hồi nhiệt từ ngưng hơi và từ khói khô tương ứng, % $Q_c$ ;  $q$  là tổng tỉ lệ thu hồi nhiệt, %.

Bảng 2 trình bày kết quả tính toán thu hồi nhiệt cho 2 loại khí NG và LPG của Việt Nam khi hạ nhiệt độ khói từ 150°C xuống 100°C và ngưng tụ hơi. Trong đó, lượng hơi nước và khói khô sinh ra khi đốt 1 kg khí được tính toán từ quá trình cháy nhiên liệu [9]. Không có sự chênh lệch đáng kể về tỉ lệ thu hồi nhiệt từ khói khô cho cả hai nhiên liệu NG và LPG. Tổng tỉ lệ thu hồi nhiệt từ khí NG và khí hóa lỏng lần lượt là 9,63% và 8,18%, tương ứng. Trong trường hợp giả sử hiệu suất của thiết bị thu hồi nhiệt là 90% và cho toàn bộ khói đi qua thiết bị thu hồi nhiệt thì lượng nhiệt thu hồi được lên đến 9% so với nhiệt cấp vào.

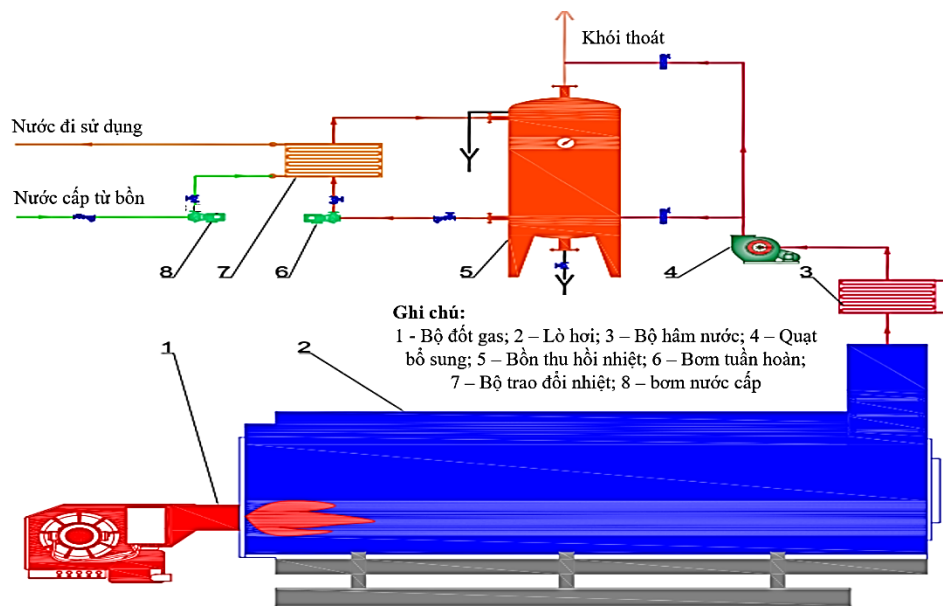
Bảng 2: Kết quả tính thu hồi nhiệt khi dùng lò hơi đốt khí

Đại lượng	Nhiên liệu	
	Khí thiên nhiên (NG)	Khí hóa lỏng (LPG)
Nhiệt trị thấp ( $Q_t$ ), kJ/kg	49270	46100
Nhiệt trị cao ( $Q_c$ ), kJ/kg	54260	50060
Lượng hơi nước trong khói, kg/kgNL	2,11	1,59
Lượng khói khô, kg/kgNL	17,47	16,6



Tỉ lệ thu hồi nhiệt từ ngưng hơi, $q_h$ , % $Q_c$	8,15	6,65
Tỉ lệ thu hồi nhiệt từ khói khô, $q_k$ , % $Q_c$	1,48	1,53
Tổng tỉ lệ thu hồi nhiệt, $q$	9,63	8,18

Một sơ đồ thu hồi nhiệt cho lò hơi được minh họa trong Hình 6. Hệ thống sử dụng nước nóng tuần hoàn qua bộ thu hồi nhiệt để tận dụng nhiệt khói thải và sau đó cấp nhiệt cho nước lạnh nhờ bộ trao đổi nhiệt trung gian. Nước ngưng tụ trong khói sẽ được định kỳ xả ra ngoài hoặc tận dụng lại như 1 nguồn nước nóng nếu không yêu cầu quá cao về chất lượng nước. Phương án này thích hợp cho các hệ tiêu thụ có nhu cầu nước nóng và sử dụng 1 lần hoặc trong nhà máy điện chu trình hỗn hợp để nâng nhiệt độ nước ngưng sau turbine. Với phương án này, hiệu suất sử dụng nhiệt sẽ có thể đến 97 - 98%  $Q_c$ .



Hình 6: Sơ đồ hệ thống thu hồi nhiệt từ khói lò đốt gas

#### 4 KẾT LUẬN

Trong nghiên cứu này, kết quả nghiên cứu quá trình trao đổi nhiệt trong lò hơi đã được đánh giá cho hai nhiên liệu độ ẩm cao, gồm sinh khối và than nâu Indonesia, và đề xuất một số giải pháp kỹ thuật nhằm nâng cao hiệu suất của hệ thống lò hơi công nghiệp. Kết quả chỉ ra khi sử dụng nhiên liệu sinh khối có độ ẩm 10% cho lò áp suất 8 bar, tiêu hao nhiên liệu lò hơi là 200 kg/ tấn hơi. Trong khi đó, tại độ ẩm 40%, tiêu hao nhiên liệu lò hơi 350 kg/ tấn hơi. Mức độ tiêu hao nhiên liệu tăng nhanh ở những giá trị độ ẩm cao hơn 40%, hiệu suất lò hơi giảm đến 10% khi độ ẩm chênh lệch 30%. Độ ẩm hợp lý được tìm thấy cho nhiên liệu sinh khối là < 20 %. Đối với than nâu, kết quả cho thấy khi độ ẩm tăng từ 35 - 40%, hiệu suất lò giảm 1,2%, tiêu hao nhiên liệu tăng tăng từ 196 – 216 kg/tấn hơi. Sử dụng nhiên liệu khí tự nhiên và khí hóa lỏng, tỉ lệ thu hồi nhiệt từ khói khô được tính toán lần lượt là 1,48% và 1,53%, tương ứng. Tổng tỉ lệ thu hồi nhiệt lần lượt là 9,63% và 8,18% cho nhiên liệu khí tự nhiên và khí hóa lỏng. Do đó, ngoài các giải pháp như bọc lại cách nhiệt hệ đường ống dẫn hơi, kiểm tra van nước ngưng thì nâng cao hiệu suất lò hơi là việc quan trọng để đảm bảo giảm chi phí sản xuất nhiệt và đạt hiệu quả trong vận hành của các lò hơi công nghiệp, đặc biệt đối với nhiên liệu rắn có độ ẩm cao, không ổn định. Các kết quả từ nghiên cứu này có thể làm cơ sở tham khảo hữu ích, áp dụng cho các hệ thống lò hơi công nghiệp hiện có ở Việt Nam, góp phần tăng hiệu quả sử dụng nhiệt và giảm chi phí sản xuất hơi cho doanh nghiệp. Tuy nhiên, để áp dụng các giải pháp đã đề cập các doanh nghiệp cần có đội ngũ kỹ thuật có kiến thức và kỹ năng về ngành nhiệt, đặc biệt tại các công ty về tư vấn, thiết kế, chế tạo.



## TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Thủ tướng chính phủ, Về việc tăng cường tiết kiệm điện giai đoạn 2020 – 2025, *Chỉ thị số 20/CT-TTg, 05/2020*, Hà Nội.
- [2] N.T.K Ngân và H.T. Phương, “Tiềm năng và xu hướng sử dụng năng lượng sạch ở Việt Nam”, *Tạp chí Khoa học Kỹ thuật Mỏ - Địa chất*, Tập 61, Kỳ 5, tr. 1 – 8, 2020. DOI: 10.46326/JMES.KTQT2020.01.
- [3] N. A. Ngọc, “Highlights at COP26 and Vietnam’s imprint”, *The World and Vietnam*, 2021.
- [4] T.T. Sơn và P.Q. Tra, “Một số kết quả của việc nâng cao hiệu suất lò hơi sau khi lắp đặt bộ hâm nước”, *Tạp Chí Khoa học Và Công nghệ - Đại học Đà Nẵng*, Tập 9, Số. 118, tr. 48-50, 2017.
- [5] N. T. Quang, “Một số vấn đề sử dụng biomass tại Việt Nam”, *Báo cáo Hội nghị Khoa học ngành Nhiệt*, 2012.
- [6] H. N. Đồng và L. H. Anh, “Một số giải pháp tiết kiệm năng lượng trong lò hơi công nghiệp”, *Tạp chí Khoa học và Công nghệ, Đại học Đà Nẵng*, Tập 2, Số 37, 2010.
- [7] R. Saidur, “Energy saving and emission reductions in industrial boilers”, *Thermal Science*, vol. 15, pp. 705-719, 2011.
- [8] Công Ty TNHH Kỹ Thuật Cơ Khí Năng Lượng Môi Trường Đại Phát, “*Tài liệu phân tích thành phần nhiên liệu*”.
- [9] Đ. N. Chân và H. N. Đồng, *Lò hơi và thiết bị đốt*. Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ thuật, 2008.
- [10] B. Boundy and S. W. Diegel. *Biomass energy data book, Edition 4*. Office of the Biomass Program Energy Efficiency and Renewable Energy U.S. Department of Energy, 2011.
- [11] J. Ziemele, D. Blumberga, N. Talcis, and I. Laicane, “Industrial research of condensing unit for natural gas boiler house”, *Journal Environmental and Climate Technologies*, vol. 10, pp. 34-38, 2012. DOI: 10.2478/v10145-012-0023-9.
- [12] I. Iliev, A. Terziev, and H. Beloev, “Condensing economizers for large scale steam boilers”, *E3S Web of conference* 180, 01004, 2020. DOI:org/10.1051/e3sconf/202018001004.

## SOME SOLUTIONS FOR EFFICIENCY IMPROVEMENT OF INDUSTRIAL BOILER SYSTEMS USING SOLID FUELS OR GAS

NGUYEN THANH QUANG

*Faculty of Heat and Refrigeration Engineering, Industrial University of Ho Chi Minh City  
nguyenthanhquang@iuh.edu.vn*

**Abstract.** Industrial boiler systems burning solid fuels and gas are widely applied to provide saturated steam for industrial processes. Solid fuels have different compositions and moisture content that affect combustion performance, resulting in high costs for heat production. This paper presents the heat exchange process in a boiler, adopting biomass and Indonesian coal with high moisture content. Thereby, some technical solutions are proposed to improve the efficiency of industrial boiler systems. The results showed that using biomass fuel with a moisture content of 10% for a boiler of 8 bar pressure, the fuel consumption was 200 kg/ton of steam. Fuel consumption increased by 350 kg/ton of steam at 40% moisture content. Fuel consumption rapidly increased at moisture values higher than 40%. Boiler efficiency decreased up to 10% when the moisture difference was 30%. The reasonable moisture content was found to be < 20 % for biomass fuel. For coal, increasing moisture content by 5%, the efficiency decreased by 1.2%, and fuel consumption increased by 10%. Total heat recovery rates were 9.63% and 8.18% for natural gas and liquefied gas fuels, respectively. The obtained results can serve as a good technical reference for employing the existing industrial boiler systems, facilitating the increase of thermal efficiency and reducing the cost of steam production.

**Keywords:** thermal system, boiler, boiler efficiency, solid fuel, biomass

*Ngày nhận bài: 04/10/2022*

*Ngày chấp nhận đăng: 20/12/2022*