

Modeling of Steam Generation Process in the Supercritical Once-Through Boiler in the Thermal Power Plant with MATLAB Application

Nguyen Dang Binh Thanh, Nguyen Trung Dung, Ta Hong Duc*

Hanoi University of Science and Technology, Hanoi, Vietnam

*Email: duc.tahong@hust.edu.vn

Abstract

The paper establishes a simple and practical model for a water-wall system comprising supercritical once-through boilers. The mathematical model of the system is developed and built based on mass, energy and momentum balance equations. The system of equations gives the linear and differential algebraic equations expressed by pressure and temperature. The model is solved by a program written in the MATLAB application. The data in the literature are also provided for comparison, and good agreement with the model results. The MATLAB program could be applied for basic design of process in the supercritical once through boiler in the thermal power plants in Vietnam.

Keywords: Steam Generation, supercritical once-through boiler, thermal power plant.

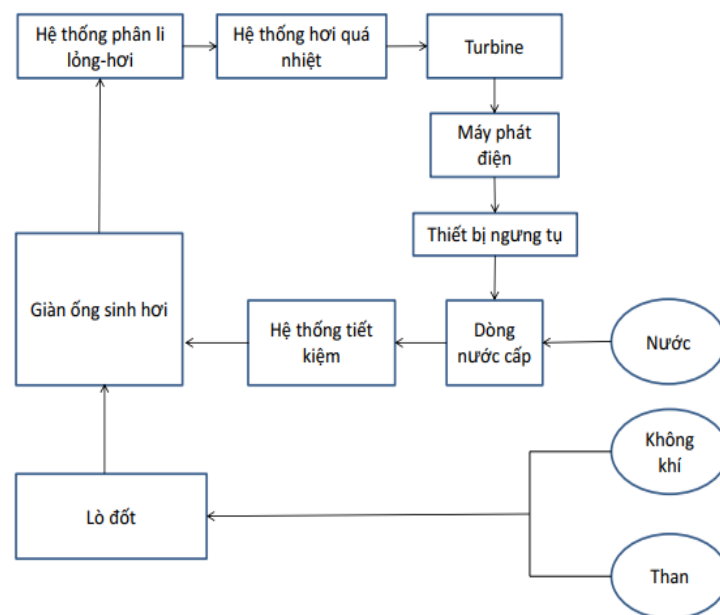
1. Tổng quan

Trong những năm gần đây, việc bảo vệ môi trường và sử dụng năng lượng một cách hiệu quả rất được chú trọng. Mặc dù quá trình sản xuất nhiệt điện gây ra nhiều vấn đề môi trường nhưng vẫn đóng góp 65% lượng năng lượng cho toàn thế giới [1, 2]. Từ đó đòi hỏi các kỹ sư phải nghiên cứu giải pháp nhằm xây dựng nhà máy nhiệt điện có năng suất cao và thân thiện với môi trường.

Do làm việc ở áp suất cao và nhiệt độ cao, nồi hơi siêu tới hạn không tuần hoàn đem lại hiệu quả năng

lượng lớn hơn so với nồi hơi tuần hoàn. Nồi hơi siêu tới hạn không tuần hoàn sinh hơi siêu tới hạn, có năng lượng cao hơn hơi quá nhiệt nên hiệu suất cao hơn [3]. Mặt khác nồi hơi siêu tới hạn không có ống tuần hoàn hoặc ống xả đường kính lớn, nên kích thước của loại nồi hơi này nhỏ hơn nhiều so với nồi hơi tuần hoàn [4].

Hình 1 biểu diễn sơ đồ mô hình hệ thống nhà máy nhiệt điện sử dụng nồi hơi siêu tới hạn không tuần hoàn bao gồm thiết bị trao đổi nhiệt, bộ phận tiết kiệm nhiệt, giàn ống sinh hơi, bộ phận quá nhiệt, Turbine, Máy phát điện, Thiết bị ngưng tụ, Dòng nước cấp, Nước, Không khí, Than.



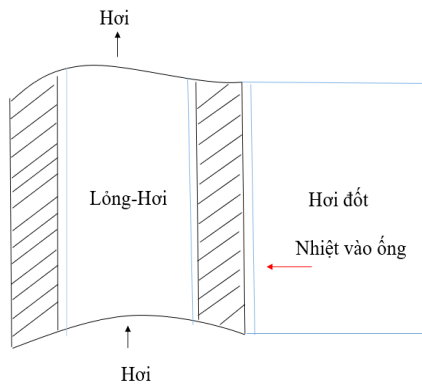
Hình 1. Mô hình hệ thống nồi hơi siêu tới hạn không tuần hoàn

Nước vào giàn ống sinh hơi qua thiết bị tiết kiệm nhiệt, nhận nhiệt trong buồng đốt sau đó nước chuyển thành hơi trong giàn ống. Hơi nước qua hệ thống phân ly lỏng hơi và vào bộ phận quá nhiệt để nhận nhiệt chuyển thành hơi siêu tới hạn trước khi vào turbin điện [5].

Đối với hệ thống này, giàn ống sinh hơi được đánh giá là bộ phận chính. Tuy nhiên việc mô phỏng các thông số công nghệ theo thời gian vận hành của quá trình sinh hơi trong giàn ống ở trạng thái siêu tới hạn vẫn còn chưa được phổ biến. Vì vậy, nghiên cứu này tập trung vào việc thiết lập và giải mô hình toán học mô tả các trạng thái hoạt động của giàn ống sinh hơi siêu tới hạn không tuân hoàn bằng chương trình viết trên ứng dụng MATLAB. Mô hình sử dụng các biến áp suất và nhiệt độ dựa trên các phương trình cân bằng chất, cân bằng nhiệt và cân bằng động lượng để đánh giá phân tích chất lượng hơi thông qua áp suất và nhiệt độ.

2. Xây dựng mô hình toán học

Các định luật cân bằng cơ bản được sử dụng trong quá trình thiết lập mô hình là: cân bằng vật chất, cân bằng năng lượng và cân bằng động lượng. Hình 2 thể hiện mô hình tổng quát cho hệ thống giàn ống sinh hơi trong nồi hơi không tuân hoàn sử dụng hơi siêu tới hạn. Các đại lượng và thứ nguyên, các hằng số được trình bày ở Bảng 1 và 2.



Hình 2. Sơ đồ của giàn ống sinh hơi

Bảng 1. Đại lượng và thứ nguyên

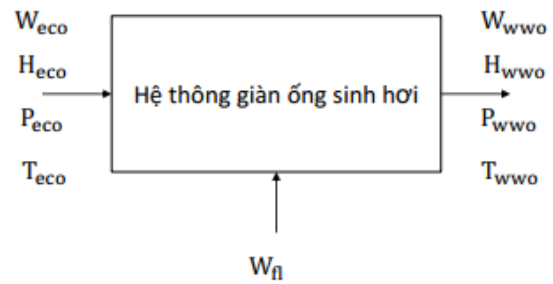
Đại lượng và thứ nguyên			
F [kg·s ² /kg·m ⁵]	Lực ma sát	T [°C]	Nhiệt độ
H [kJ/kg]	Enthalpy	U [kJ/kg]	Nội năng
L [m]	Chiều dài	V [m ³]	Thể tích
P [MPa]	Áp suất	W [kg/s]	Lưu lượng
Q [kJ/s]	Dòng nhiệt	ρ [kg/m ³]	Khối lượng riêng

Bảng 2. Các hằng số

Các hằng số	
A_i [m ²]	Diện tích bề mặt của thành bên trong ống
A_o [m ²]	Diện tích bề mặt của thành bên ngoài ống
C_{vg} [kJ/kg °C]	Nhiệt dung riêng của khí thải
C_{vw} [kJ/kg °C]	Nhiệt dung riêng của thành ống
K_{fl} [kJ/kg]	Năng suất tỏa nhiệt của than
R_g [J/mol·K]	Hằng số khí lí tưởng
h_f [W/ °C· m ²]	Hệ số cấp nhiệt bên trong
h_g [W/ °C· m ²]	Hệ số cấp nhiệt bên ngoài
ϵ [—]	Độ phát xạ của khí thải trong lò
σ [W/m ² K ⁴]	Hằng số Stefan-Boltzmann

2.1. Mô hình giàn ống sinh hơi

Để thiết lập các phương trình cân bằng vật chất, cân bằng năng lượng, cân bằng động lượng, ta xác định các thông số đầu vào và đầu ra, từ đó đưa ra dưới dạng sơ đồ với dòng vào và dòng ra như mô tả trên Hình 3 để thuận tiện cho việc xây dựng mô hình toán học của hệ thống.



Hình 3. Sơ đồ biểu diễn đầu vào và đầu ra của hệ thống giàn ống sinh hơi.

2.2. Các giả thiết

Việc xây dựng các phương trình cân bằng trong hệ thống giàn ống sinh hơi dựa trên những giả thiết dưới đây.

Chênh lệch áp suất khối lò là không đáng kể. Dòng khối lò được coi như là hỗn hợp khí lí tưởng. Tính chất của hỗn hợp lỏng-hơi là như nhau trên mọi tiết diện của ống hơi. Sự truyền nhiệt theo hướng dọc trục là không đáng kể. Nhiệt truyền từ khối lò vào tường ống tỷ lệ thuận với lượng nhiệt trong lò đốt. Quá trình truyền nhiệt qua tường ống là truyền nhiệt đẳng nhiệt.

2.3. Xây dựng các phương trình cân bằng

Mô hình toán học của hệ thống giàn ống sinh hơi được mô tả bằng phương trình cân bằng vật chất, cân bằng năng lượng và cân bằng momen được đưa ra dưới đây. Trong đó, các dòng vào và dòng ra của hệ thống đã được đưa ra ở Hình 3.

2.3.1. Cân bằng vật chất

Quá trình di chuyển vật chất trong hệ thống giàn ống sinh hơi được mô tả trong Hình 4.



Hình 4. Sơ đồ mô tả dòng vật chất trong hệ thống

Trong thể tích dòng khảo sát (xem Hình 4), tồn tại 2 thành phần là lỏng và hơi, do đó, lượng vật chất tích tụ lại trong thể tích đang xét được mô tả bằng phương trình sau:

$$\frac{d}{dt} [\rho_{liq} V_{liq} + \rho_{vap} V_{vap}] = W_{eco} - W_{wwwo} \quad (1)$$

Trong đó, thể tích và khối lượng của dòng vật chất trong hệ thống bằng tổng của 2 thành phần pha lỏng và pha hơi, được biểu diễn như sau:

$$\begin{cases} V_{ww} = V_{liq} + V_{vap} \\ m_{ww} = m_{liq} + m_{vap} \end{cases} \quad (2)$$

Ngoài ra ta có:

$$\Rightarrow \rho_{wwwo} V_{ww} = \rho_{liq} V_{liq} + \rho_{vap} V_{vap} \quad (3)$$

Do đó, (1) trở thành:

$$\Rightarrow V_{ww} \frac{d}{dt} (\rho_{wwwo}) = W_{eco} - W_{wwwo} \quad (4)$$

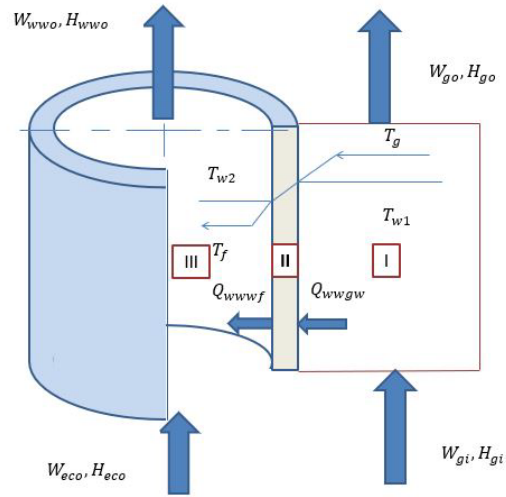
(V_{ww} = hằng số)

Phương trình (4) được gọi là phương trình cân bằng vật chất của hệ thống.

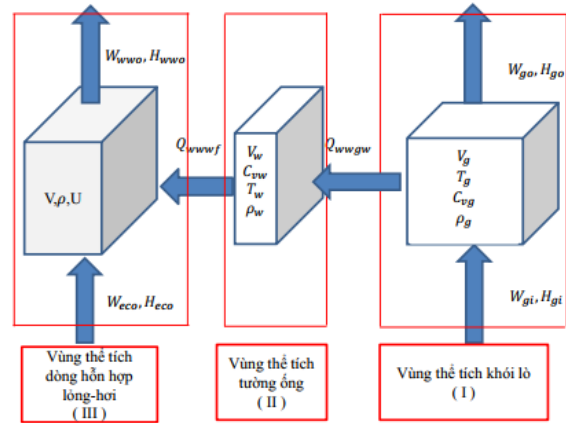
2.3.2 Cân bằng năng lượng

Để xây dựng cân bằng năng lượng, ta xác định các thành phần dòng nhiệt đi vào và đi ra của hệ thống như mô tả như trong Hình 5.

Biến thiên nhiệt độ và khối lượng riêng của thể tích khối lò đang xét (Vùng I) được mô tả bởi phương trình (5) [6, 9]:



Hình 5. Quá trình truyền nhiệt chung



Hình 6. Ba vùng quá trình truyền nhiệt

$$V_g C_{vg} \frac{d}{dt} (\rho_g T_g) = W_{gi} H_{gi} - W_{go} H_{go} - Q_{gw} \quad (5)$$

trong đó, Q_{gw} là lượng nhiệt truyền từ khối lò vào thành ống. Lượng nhiệt này gồm 2 thành phần:

$$\text{Bức xạ nhiệt: } Q_{g,rad} = \epsilon \sigma A (T_g^4 - T_w^4) \quad (6)$$

$$\text{Đổi lưu nhiệt: } Q_{g,conv} = h_g A (T_g - T_w) \quad (7)$$

Do đó, lượng nhiệt truyền từ khối lò vào thành ống được biểu diễn bởi phương trình sau:

$$Q_{gw} = \epsilon \sigma A (T_g^4 - T_w^4) + h_g A (T_g - T_w) \quad (8)$$

Tiếp theo, xét đến vùng thể tích tường ống (Vùng II). Lượng nhiệt cấp từ tường ống vào dòng hỗn hợp lỏng-hơi tuân theo định luật cấp nhiệt Newton được mô tả bằng phương trình sau:

$$Q_{wf} = h_f A (T_w - T_f) \quad (9)$$

Lượng nhiệt tích tụ trong tường ống được tính bằng lượng nhiệt cấp từ khối lò vào tường ống trừ đi lượng nhiệt cấp từ tường ống vào hỗn hợp lỏng-hơi, được mô tả bởi phương trình sau:

$$Q_{wwgw} - Q_{wwwf} = V_{ww} C_{vw} \rho_w \frac{d}{dt}(T_w) \quad (10)$$

Cuối cùng, xét đến vùng hỗn hợp lỏng-hơi bên trong ống (Vùng III). Biến thiên nội năng của dòng hỗn hợp lỏng-hơi bằng lượng nhiệt dòng mang vào cộng với lượng nhiệt tường ống cấp vào dòng hỗn hợp lỏng-hơi trừ đi lượng nhiệt dòng mang ra khỏi thể tích đang xét:

$$V_{ww} \frac{d}{dt}(U_{ww} \rho_{ww}) = W_{eco} H_{eco} - W_{wwo} H_{wwo} + Q_{wwwf} \quad (11)$$

Theo giả thiết số 6 [3,10], quá trình truyền nhiệt qua tường ống là truyền nhiệt đẳng nhiệt, do đó:

$$Q_{wwgw} = Q_{wwwf} \quad (12)$$

Vì vậy phương trình (10) có thể viết lại như sau:

$$V_w C_{vw} \rho_w \frac{d}{dt}(T_w) = Q_{wwgw} - Q_{wwwf} = 0 \quad (13)$$

Do đó, sự ảnh hưởng của nhiệt độ tường ống được bỏ qua. Theo giả thiết số 5, nhiệt truyền từ khối lò vào tường ống tỷ lệ thuận với nhiệt trong lò đốt và được biểu diễn bằng phương trình (14):

$$Q_{wwgw} = Q_{wwwf} = \alpha \cdot Q_c \quad (14)$$

trong đó, Q_c là nhiệt cháy của nhiên liệu, được xác định theo phương trình (15):

$$Q_c = K_{fl} \cdot W_{fl} \quad (15)$$

Trong phương trình (14) hệ số α là một hàm của T_{ave} , là giá trị trung bình của nhiệt độ đầu vào và đầu ra của hệ thống giàn ống sinh hơi và được mô tả theo phương trình sau:

$$\alpha = \alpha(T_{ave}) = a_2 T_{ave}^2 + a_1 T_{ave} + a_0 \quad (16)$$

với:

$$T_{ave} = \frac{T_{eco} + T_{wwo}}{2} \quad (17)$$

Từ đó, phương trình cấp nhiệt từ tường ống vào dòng hỗn hợp lỏng-hơi được viết lại như sau:

$$Q_{wwwf} = \alpha(T_{ave}) K_{fl} W_{fl} \quad (18)$$

$$= \eta(T_{ave}) W_{fl} \quad (19)$$

trong đó: η là tỉ số của Q_{wwwf} với W_{fl} được biểu diễn bằng tích của α và K_{fl} .

Kết hợp phương trình (11) và phương trình (19), phương trình cân bằng năng lượng cho dòng hỗn hợp lỏng-hơi được đưa ra như sau:

$$W_{eco} H_{eco} - W_{wwo} H_{wwo} + \eta(T_{ave}) \cdot W_{fl} = V_{ww} \frac{d}{dt}(\rho_{wwo} U_{wwo}) \quad (20)$$

2.3.3. Phương trình cân bằng động lượng.

Trong các phương trình cân bằng năng lượng và cân bằng vật chất, thông số W_{wwo} được tính toán bằng phương trình cân bằng động lượng của dòng hỗn hợp lỏng-hơi tại bộ phận hơi quá nhiệt. Trong phạm vi bài báo này, do dòng chảy rất hỗn độn nên chỉ xét đến ảnh hưởng của lực ma sát, sự ảnh hưởng của lực quán tính, động lực của dòng được bỏ qua [11]. Do đó, phương trình cân bằng động lượng cho dòng hỗn hợp lỏng-hơi tại bộ phận hơi quá nhiệt được đưa ra như sau:

$$P_{wwo} - P_{pso} = F_{ps} \frac{W_{wwo}^2}{\rho_{wwo}} + \frac{\rho_{wwo} L_{ps} g}{10,1972 \cdot 10^4 \cdot g_c} \quad (21)$$

Trong thực tế, yếu tố ma sát F_{ps} tỉ lệ thuận với W_{eco} [12, 13], để việc tính toán được chính xác, F_{ps} được đưa ra dưới dạng một hàm của W_{eco} như sau:

$$F_{ps} = F_{ps}(W_{eco}) = b_1 W_{eco} + b_0 \quad (22)$$

với các hệ số b_1, b_0 được xác định bằng thực nghiệm.

2.4. Mô hình mô tả các thông số trạng thái.

Dựa trên mô hình toán học đã đưa ra ở trên, cùng với các phương trình đã thiết lập, với 3 thông số như sau:

Biến trạng thái:

$$\bar{X} = [x_1, x_2] = [\rho_{wwo}, U_{wwo}] \quad (23)$$

Biến đầu vào:

$$\bar{U} = [u_1, u_2, u_3, u_4, u_5] = [W_{eco}, H_{eco}, P_{eco}, T_{pso}, W_{fl}] \quad (24)$$

Biến đầu ra:

$$\bar{Y} = [y_1, y_2, y_3, y_4] = [W_{wwo}, H_{wwo}, P_{wwo}, T_{wwo}] \quad (25)$$

Trong công nghiệp, hai thông số của hơi cần quan tâm đến là áp suất P và nhiệt độ T , do đó áp suất và nhiệt độ được đặt làm các biến trạng thái của hệ thống:

$$\bar{X} = [x_1, x_2] = [\rho_{wwo}, U_{wwo}] = [P_{wwo}, T_{wwo}] \quad (26)$$

Từ định nghĩa về enthalpy [6]:

$$U = H - \frac{P}{\rho} \quad (27)$$

Thay phương trình (27) vào vế phải của phương trình (20), ta thu được phương trình sau:

$$V_{ww} \frac{d}{dt}(U_{wwo} \rho_{wwo}) = V_{ww} \left[\rho \frac{dH}{dt} - \frac{dP}{dt} + H \frac{d\rho}{dt} \right] \quad (28)$$

Kết hợp phương trình (28) với phương trình (20), phương trình cân bằng năng lượng được viết lại dưới dạng:

$$V_{ww} \left[\rho \frac{dH}{dt} - \frac{dP}{dt} + H \frac{d\rho}{dt} \right] = W_{eco} H_{eco} - W_{ww0} H_{ww0} + \eta(T_{ave}) \cdot W_{fl} \quad (29)$$

hoặc:

$$\left[\rho \frac{dH}{dt} - \frac{dP}{dt} + H \frac{d\rho}{dt} \right] = \frac{W_{eco} H_{eco} - W_{ww0} H_{ww0} + \eta(T_{ave}) \cdot W_{fl}}{V_{ww}} \quad (30)$$

Phương trình cân bằng vật chất (4) cũng được viết lại như sau:

$$\frac{d(\rho_{ww0})}{dt} = \frac{W_{eco} - W_{ww0}}{V_{ww}} \quad (31)$$

Trong bài báo này, enthalpy H và khối lượng riêng ρ được đưa ra dưới dạng hàm của áp suất P và nhiệt độ T :

$$H = H(P, T) = c_3 P + c_2 T + c_1 P T + c_0 \quad (32)$$

$$\rho = \rho(P, T) = d_3 P d_2 T + d_1 P T + d_0 \quad (33)$$

Biến đổi đạo hàm riêng của enthalpy và khối lượng riêng theo thời gian:

$$\frac{dH}{dt} = \frac{\partial H}{\partial P} \frac{dP}{dt} + \frac{\partial H}{\partial T} \frac{dT}{dt} \quad (34)$$

$$\frac{d\rho}{dt} = \frac{\partial \rho}{\partial P} \frac{dP}{dt} + \frac{\partial \rho}{\partial T} \frac{dT}{dt} \quad (35)$$

Kết hợp phương trình (31) với phương trình (35), phương trình cân bằng vật chất được viết lại thành:

$$\frac{\partial \rho}{\partial P} \frac{dP}{dt} + \frac{\partial \rho}{\partial T} \frac{dT}{dt} = \frac{W_{eco} - W_{ww0}}{V_{ww}} \quad (36)$$

Kết hợp phương trình (34), (35) và (30), phương trình cân bằng năng lượng được viết lại như sau:

$$\begin{aligned} & \left[\rho \frac{dH}{dt} - \frac{dP}{dt} + H \frac{d\rho}{dt} \right] \\ & = \left[\rho \left(\frac{\partial H}{\partial P} \frac{dP}{dt} + \frac{\partial H}{\partial T} \frac{dT}{dt} \right) - \frac{dP}{dt} + H \left(\frac{\partial \rho}{\partial P} \frac{dP}{dt} + \frac{\partial \rho}{\partial T} \frac{dT}{dt} \right) \right] \\ & = \frac{W_{eco} H_{eco} - W_{ww0} H_{ww0} + \eta(T_{ave}) \cdot W_{fl}}{V_{ww}} \end{aligned} \quad (37)$$

Từ các phương trình trên, phương trình mô tả sự biến thiên của áp suất và nhiệt độ theo thời gian có dạng:

$$\frac{dP}{dt} = \frac{A \left(\rho \frac{\partial H}{\partial T} + H \frac{\partial \rho}{\partial T} \right) - B \frac{\partial \rho}{\partial T}}{\frac{\partial \rho}{\partial P} \left(\rho \frac{\partial H}{\partial T} + H \frac{\partial \rho}{\partial T} \right) - \frac{\partial \rho}{\partial T} \left(\rho \frac{\partial H}{\partial P} + H \frac{\partial \rho}{\partial P} - 1 \right)} \quad (38)$$

$$\frac{dT}{dt} = \frac{B \frac{\partial \rho}{\partial P} - A \left(\rho \frac{\partial H}{\partial P} + H \frac{\partial \rho}{\partial P} - 1 \right)}{\frac{\partial \rho}{\partial P} \left(\rho \frac{\partial H}{\partial T} + H \frac{\partial \rho}{\partial T} \right) - \frac{\partial \rho}{\partial T} \left(\rho \frac{\partial H}{\partial P} + H \frac{\partial \rho}{\partial P} - 1 \right)} \quad (39)$$

trong đó:

$$A = \frac{W_{eco} - W_{ww0}}{V_{ww}} \quad (40)$$

$$B = \frac{W_{eco} H_{eco} - W_{ww0} H_{ww0} + \eta(T_{ave}) \cdot W_{fl}}{V_{ww}} \quad (41)$$

Dựa vào các biến số đã đặt ở phương trình (24), (25), (26). Các phương trình (19), (40) và (41) trở thành:

$$\begin{aligned} \eta(T_{ave}) &= \eta \left(\frac{T_{eco} + T_{ww0}}{2} \right) = \eta(u_4, x_2) \\ &= \left\{ \frac{a_2(u_4 + x_2)^2}{4} + \frac{a_1(u_4 + x_2)}{2} + a_0 \right\} \end{aligned} \quad (42)$$

$$A = \frac{W_{eco} - W_{ww0}}{V_{ww}} = \frac{u_1 - y_1}{V_{ww}} = A(u_1, y_1) \quad (43)$$

$$\begin{aligned} B &= \frac{W_{eco} H_{eco} - W_{ww0} H_{ww0} + \eta(T_{ave}) \cdot W_{fl}}{V_{ww}} \\ &= \frac{u_1 u_2 - y_1 y_2 + \eta(u_4, x_2) \cdot u_5}{V_{ww}} \\ &= B(u_1, u_2, u_4, u_5, y_1, y_2, x_2) \end{aligned} \quad (44)$$

Từ phương trình (32) và (33):

$$\begin{aligned} H &= H(P, T) = c_3 P + c_2 T + c_1 P T + c_0 \\ \frac{\partial H}{\partial T} &= c_2 + c_1 P = c_2 + c_1 x_1 \end{aligned} \quad (45)$$

$$\frac{\partial H}{\partial P} = c_3 + c_1 T = c_3 + c_1 x_2 \quad (46)$$

$$\rho = \rho(P, T) = d_3 P + d_2 T + d_1 P T + d_0 \quad (47)$$

$$\frac{\partial \rho}{\partial T} = d_2 + d_1 P = d_2 + d_1 x_1 \quad (48)$$

$$\frac{\partial \rho}{\partial P} = d_3 + d_1 T = d_3 + d_1 x_2 \quad (49)$$

Thay vế trái của các phương trình từ (45) tới (49) vào vế trái của phương trình (38) và (39), được phương trình vi phân biểu diễn áp suất và nhiệt độ như sau:

$$\frac{dx_1}{dt} = \frac{A(u_1, y_1) \cdot \{ \rho(x_1, x_2) \cdot (c_2 + c_1 x_1) + y_2 (d_2 + d_1 x_1) \} - B(u_1, u_2, u_4, u_5, y_1, y_2, x_2) \cdot (d_2 + d_1 x_1)}{(d_3 + d_1 x_2) \{ \rho(x_1, x_2) \cdot (c_2 + c_1 x_1) + y_2 (d_2 + d_1 x_1) \} - (d_2 + d_1 x_1) \cdot \{ P(x_1, x_2) \cdot (c_3 + c_1 x_2) + y_2 (d_3 + d_1 x_2) - 1 \}} \quad (50)$$

$$\begin{aligned} \frac{dx_2}{dt} &= \frac{B(u_1, u_2, u_4, u_5, y_1, y_2, x_2) \cdot (d_3 + d_1 x_2) - A(u_1, y_1) \cdot \{ \rho(x_1, x_2) \cdot (c_3 + c_1 x_2) + y_2 (d_3 + d_1 x_2) - 1 \}}{(d_3 + d_1 x_2) \{ \rho(x_1, x_2) \cdot (c_2 + c_1 x_1) + y_2 (d_2 + d_1 x_1) \} - (d_2 + d_1 x_1) \cdot \{ \rho(x_1, x_2) \cdot (c_3 + c_1 x_2) + y_2 (d_3 + d_1 x_2) - 1 \}} \end{aligned} \quad (51)$$

Từ phương trình cân bằng momen (21):

$$\begin{aligned} P_{ww0} - P_{ps0} &= F_{ps} \frac{W_{ww0}^2}{\rho_{ww0}} + \frac{\rho_{ww0} L_{ps} \cdot g}{10,1972 \cdot 10^4 \cdot g_c} \\ W_{ww0} &= \sqrt{\frac{\rho_{ww0}}{F_{ps}} (P_{ww0} - P_{ps0}) - \frac{\rho_{ww0} L_{ps} \cdot g}{10,1972 \cdot 10^4 \cdot g_c}} \end{aligned} \quad (52)$$

trong đó:

$$F_{ps} = F_{ps}(W_{eco}) = b_1 W_{eco} + b_0$$

$$= b_1 u_1 + b_0 \quad (53)$$

Kết hợp các phương trình (52) và (53):

$$y_1 = \sqrt{\frac{\rho(x_1, x_2)}{b_1 u_1 + b_0} \left(x_1 - u_3 - \frac{\rho(x_1, x_2) \cdot L_{ps} \cdot g}{10,1972 \cdot 10^4 \cdot g_c} \right)} \quad (54)$$

Để giải hệ phương trình vi phân trên cần có 4 phương trình đại số tuyến tính phụ trợ:

$$y_1 = \sqrt{\frac{\rho(x_1, x_2)}{b_1 u_1 + b_0} \left(x_1 - u_3 - \frac{\rho(x_1, x_2) \cdot L_{ps} \cdot g}{10,1972 \cdot 10^4 \cdot g_c} \right)} \quad (55)$$

$$y_2 = c_3 x_1 + c_2 x_2 + c_1 x_1 x_2 + c_0 \quad (56)$$

$$y_3 = x_1 \quad (57)$$

$$y_4 = x_2 \quad (58)$$

Các hệ số a_i for η , b_i for F_{ps} , c_i cho H và d_i for ρ có được từ thực nghiệm:

$$\eta = \eta(T_{ave})$$

$$= 1,058T_{ave}^2 - 8,1925 \cdot 10^2 T_{ave} + 1,6842 \cdot 10^5 \quad (59)$$

$$F_{ps} = F_{ps}(W_{eco})$$

$$= 8,1653 \cdot 10^{-7} W_{eco} - 1,3784 \cdot 10^{-4} \quad (60)$$

$$H = H(P, T)$$

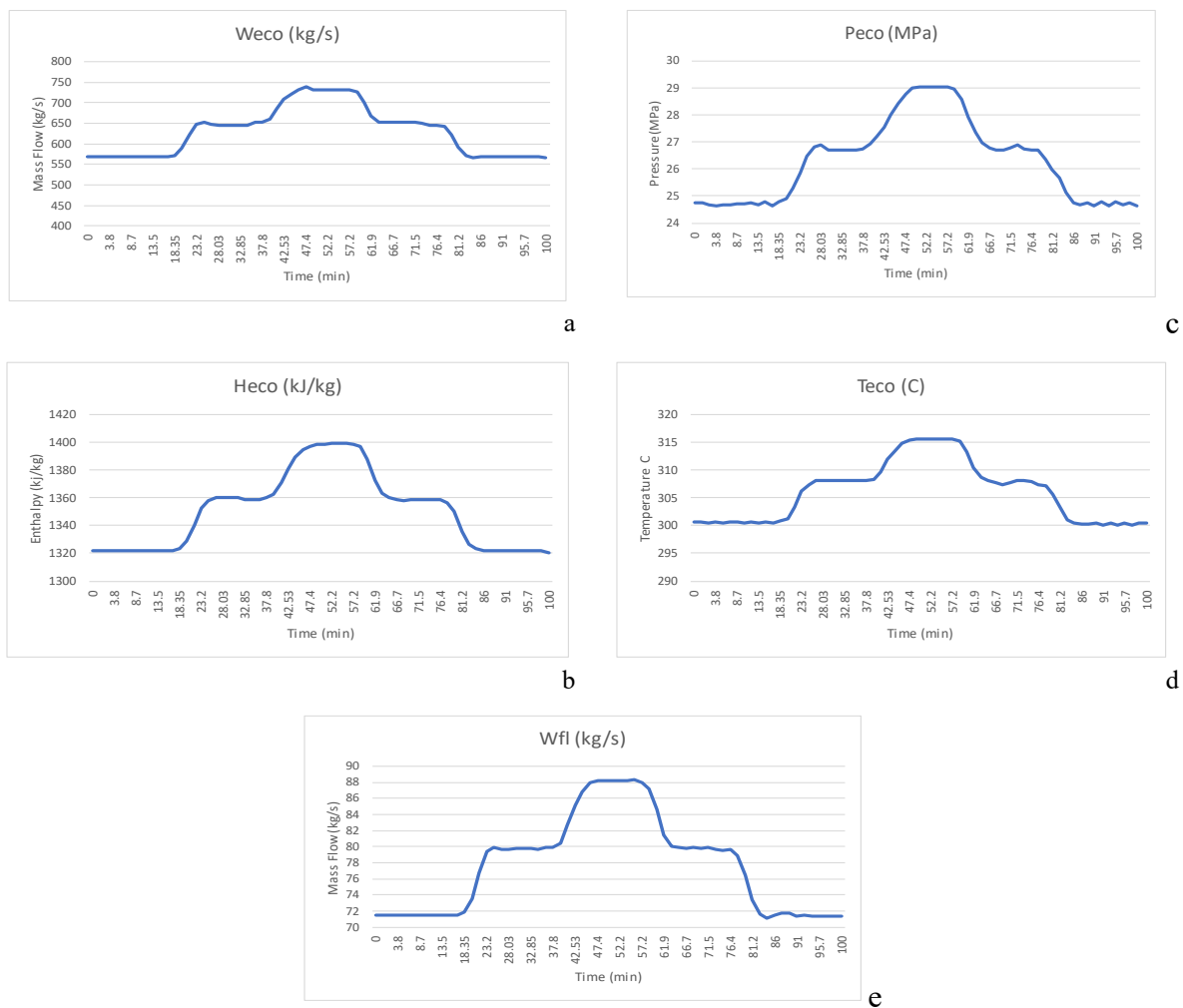
$$= -554,71P - 23,27T + 1,21PT + 13697,48 \quad (61)$$

$$\rho = \rho(P, T)$$

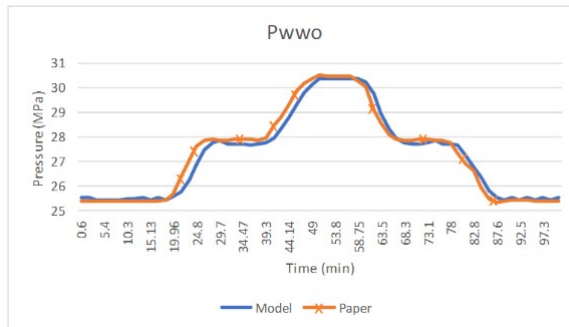
$$= 246,7P + 12,95T - 0,5495PT - 5709,504 \quad (62)$$

3. Kết quả mô phỏng và thảo luận

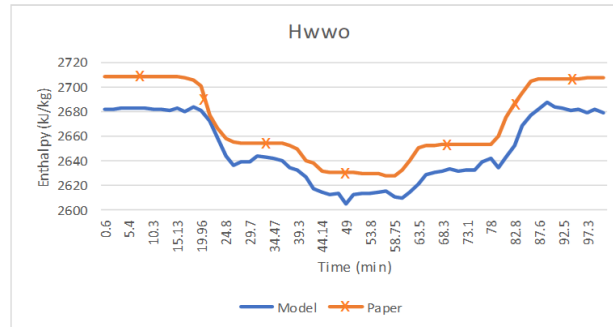
Để kiểm tra kết quả của mô hình vừa trình bày, kết quả tính được đem so sánh với các kết quả đã được công bố. Mô hình trình bày ở trên được giải bằng MATLAB với thuật toán ODE15s. Các thông số đầu vào được thay đổi tương ứng theo các công suất của nồi hơi từ 800 MW → 900 MW → 1000 MW → 900 MW → 800 MW. Mỗi bước được duy trì 20 phút. Hình 7 thể hiện 5 thông số đầu vào tương ứng với mỗi công suất được sử dụng trong mô hình.



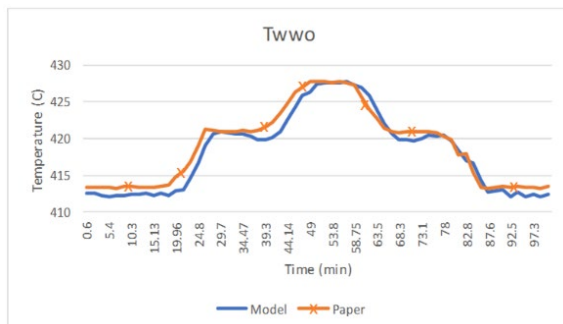
Hình 7: a) Lưu lượng nước vào (kg/s), b) Enthalpi nước vào (kJ/kg), c) Áp suất nước vào (MPa), d) Nhiệt độ nước vào (°C)



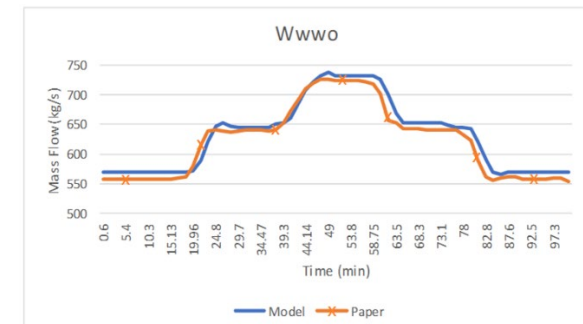
Hình 8. Đồ thị áp suất (Pww) của giàn ống sinh hơi



Hình 10. Đồ thị Enthalpy (Hww) của giàn ống sinh hơi



Hình 9. Đồ thị nhiệt độ (Tww) của giàn ống sinh hơi



Hình 11. Đồ thị lưu lượng (Www) của giàn ống sinh hơi

Kết quả đầu ra của mô hình gồm áp suất, nhiệt độ, enthalpy và lưu lượng lần lượt được đưa ra bởi 4 đồ thị tương ứng là Hình 8, 9, 10, 11.

Sự thay đổi bốn thông số này tương ứng với sự thay đổi của 5 thông số đầu vào được đưa ra ở Hình 7. Đồ thị áp suất (Hình 8) và đồ thị lưu lượng (Hình 11) của hỗn hợp lỏng-hơi tại đầu ra của hệ

Kết quả của mô hình ở trạng thái ổn định và trạng thái tức thời đều cho kết quả phù hợp với các công trình đã công bố.

4. Kết luận

Mô hình toán hệ thống giàn ống sinh hơi của nồi hơi siêu tới hạn không tuần hoàn đã được thiết lập và giải bằng phần mềm ứng dụng MATLAB. Mô hình có hai biên trạng thái, 5 thông số đầu vào: lưu lượng, enthalpi, áp suất, nhiệt độ nước vào, lượng nhiên liệu vào; và 4 thông số đầu ra: áp suất của giàn ống sinh hơi, nhiệt độ, enthalpy và lưu lượng của giàn ống sinh hơi.

Kết quả mô phỏng trên ứng dụng MATLAB gần với các thông số công nghệ quy mô công nghiệp của quá trình dựa trên mô hình. Chương trình viết trên ứng dụng MATLAB và kết quả mô phỏng MATLAB rất hữu ích cho việc tính toán, thiết kế điều khiển tối ưu và tự động hóa để phân tích các hệ thống giàn ống sinh hơi trong thực tế sản xuất.

Tài liệu tham khảo

- [1] Changliang Liu and Hong Wang, An overview of modeling and simulation of thermal power plant, Proc. of IEEE International Conference on AdvancedMechatronic Systems, (2011) 86-91.
- [2] H. Bentarzi, R.A. Chentir, A. Ouadi, A new approach applied to steam turbine controller in thermal power plant, 2nd International Conferenceon Control, Instrumentation and Automation (2011) 86-91. <https://doi.org/10.1109/ICCIAutom.2011.6356662>
- [3] J. Robert, W. Tobias, O. Veronica, Dynamic modelling of heat transfer processes in a supercritical steam power plant, M.S. thesis, Dept. Energy and Environment, Chalmers University of Technology (2012).
- [4] R.A. Naghizadeh, B. Vahidi, M.R.B. Tavakoli, Estimating the parameters of dynamic model of drum type boilers using heat balance data as an educational procedure, IEEE Trans. on Power Systems, Vol. 26, No.2, (2011) 775-782. <https://doi.org/10.1109/TPWRS.2010.2061879>
- [5] Xu Cheng, R.W. Kephart, C.H. Menten, Model based once-through boiler start-up water wall steam temperature control, Proc. of IEEE International Conference on Control Applications, Anchorage, Alaska, U.S.A., (2000) 778-783.
- [6] R.E. Sonntag, G.J. Van Wylen, C. Borgnakke, Fundamentals of Thermodynamics, John Wiley & Sons, Inc., (2002).

- [7] M.N. Dumont and G. Heyen, Mathematical modelling and design of an advanced once-through heat recovery steam generator, *Computers & Chemical Engineering*, 28, (2004), 651-660.
<https://doi.org/10.1016/j.compchemeng.2004.02.034>.
- [8] J. Pan, D. Yang, H. Yu, Q.C. Bi, H.Y. Hua, F. Gao, Z.M. Yang, Mathematical modeling and thermal hydraulic analysis of vertical water wall in an ultra-supercritical boiler, *Applied Thermal Engineering*, 27, (2009) 2500-2507.
<https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2008.12.023>.
- [9] Patrick Benedict Usoro, Modeling and simulation of a drum boiler-turbine power plant under emergency state control, M.S. thesis, Dept. Mechanical Engineering, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, United States of America, (1977).
- [10] W. Shinohara and D.E. Koditschek, A simplified model of a supercritical power plant, University of Michigan, Control Group Reports, CGR-95-08, (1995).
- [11] H. Li, X. Huang and L. Zhang, A lumped parameter dynamic model of the helical coiled once-through steam generator with movable boundaries, *Nuclear Engineering and Design*, 238, (2008)1657-1663.
<https://doi.org/10.1016/j.nucengdes.2008.01.009>
- [12] J.H. Hwang, drum boiler reduced model: a singular perturbation method, 20th International Conference on Electronics, Control and Instrumentation, Vol. 3, (1994) 1960-1964, Bologna, Italy.
- [13] A. Ray and H.F. Bowman, A nonlinear dynamic model of a once-through subcritical steam generator, *ASME Trans. on Dynamic Systems, Measurement, and Control*, 98, (1976)332-339.
<https://doi.org/10.1115/1.3427046>.