

# MÔ HÌNH HÓA VÀ ĐIỀU KHIỂN FEEDFORWARD TÁCH KÊNH CHO BỂ KHỬ KHÍ

## MODELLING AND DECOUPLING FEEDFORWARD CONTROL FOR DEAERATOR

Nguyễn Lê Hòa<sup>1</sup>, Phan Văn Căn<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Trường Đại học Bách khoa – Đại học Đà Nẵng; nglehoa@dut.udn.vn

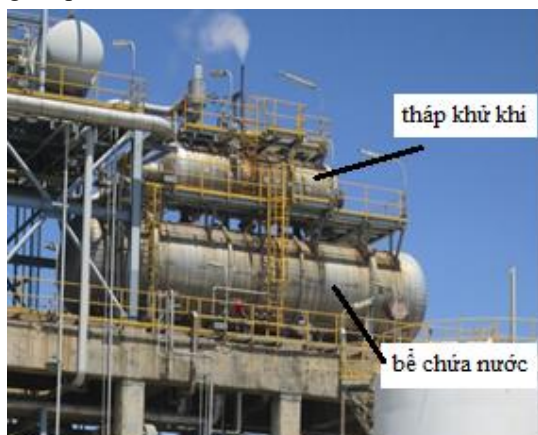
<sup>2</sup>Công ty Cổ phần Bảo dưỡng và Sửa chữa công trình dầu khí; canpv@pvmc.com.vn

**Tóm tắt** - Bể khử khí là hệ thống phi tuyến nhiều đầu vào nhiều đầu ra, trong đó áp suất hơi và mức nước trong bể khử khí là hai biến quá trình quan trọng hàng đầu. Tuy nhiên, giữa các biến này có sự tác động xen kẽ, do đó, việc điều khiển bể khử khí trở nên khó khăn với các phương pháp điều khiển phân hồi truyền thống. Bài báo này, đề xuất phương pháp điều khiển feedforward tách kênh cho bể khử khí để duy trì đồng thời áp suất và mức nước trong bể tại các giá trị đặt theo yêu cầu công nghệ. Trước tiên, mô hình của bể khử khí được thành lập dựa trên các nguyên lý về cân bằng năng lượng và khối lượng, từ đó vấn đề xen kẽ giữa áp suất và mức nước được phân tích. Trên cơ sở đó, phương pháp điều khiển feedforward được đề xuất với mục tiêu duy trì áp suất và mức nước trong bể ổn định tại các giá trị đặt. Mô hình của bể khử khí, phương pháp điều khiển đề xuất được kiểm chứng thông qua mô phỏng sử dụng Matlab/Simulink.

**Từ khóa** - Bể khử khí; mô hình hóa bể khử khí; điều khiển xen kẽ; điều khiển feedforward.

### 1. Giới thiệu chung

Bể khử khí là thiết bị đóng vai trò quan trọng trong phân xưởng thu hồi và xử lý nước ngưng của các nhà máy điện hơi. Bể khử khí được thiết kế để loại bỏ các khí như  $O_2$ ,  $CO_2$  và các khí bị hòa tan khác ra khỏi nước ngưng tụ cấp cho lò hơi và các thiết bị công nghệ khác nhằm tránh sự ăn mòn gây hư hỏng thiết bị. Bể khử khí làm việc dựa trên hai nguyên tắc cơ bản đó là độ hòa tan của các chất khí trong nước sẽ giảm khi: (i) áp suất riêng phần của chất khí trong nước giảm, (ii) nhiệt độ nước tăng lên và tiệm cận với nhiệt độ bão hòa. Hình ảnh của bể khử khí DA-3201 được sử dụng tại phân xưởng thu hồi và xử lý nước ngưng tại nhà máy Lọc dầu Dung Quất được thể hiện như Hình 1. Về cấu tạo, cơ bản bể khử khí có 2 phần chính đó là: bể chứa nước để chứa nước sau khi ngưng tụ và cấp cho phụ tải; tháp khử khí là nơi xảy ra quá trình gia nhiệt cho nước ngưng đưa vào thông qua hệ thống vòi phun hơi nước ở nhiệt độ cao.



Hình 1. Bể khử khí DA-3201 tại nhà máy Lọc dầu Dung Quất

**Abstract** - Deaerator is a nonlinear multiple input – multiple output system, where the deaerator's pressure and water level are the most two important process variables. However, there is an intercoupling in nature between pressure and water level in the deaerator, therefore, the design of control system for deaerator by using traditional feedback control methods becomes difficult. This paper proposes a decoupling feedforward control strategy in combination with feedback control to simultaneously keep the pressure and water level in the deaerator to the desired setpoints. Firstly, a detail mathematical model for a deaerator is derived based on the energy and mass balance process of the water and steam flow, Secondly, the coupling between deaerator pressure and deaerator water level is investigated. Lastly, the decoupling feedforward control scheme for the deaerator is designed. The deaerator dynamic behaviors and the proposed control method are evaluated through simulation by using Matlab /Simulink.

**Key words** - Deaerator; deaerator modeling; decoupling control; feedforward control.

Quá trình nhiệt trong bể khử khí không những thể hiện tính phức tạp, phi tuyến, không chắc chắn mà còn thể hiện tính chất xen kẽ giữa các biến quá trình, trong đó sự tác động xen kẽ giữa mức nước và áp suất hơi là yếu tố không thể bỏ qua khi thiết kế hệ thống điều khiển cho bể khử khí. Do đó, việc dẫn ra mô hình chính xác cho bể khử khí vẫn thu hút được sự quan tâm của nhiều nhà nghiên cứu trong và ngoài nước. Trong [1], dựa trên các định luật vật lý về bảo toàn khối lượng và năng lượng, các tác giả đã dẫn ra một mô hình đơn giản thể hiện được nguyên lý làm việc cơ bản của bể khử khí. Một số mô hình phức tạp hơn nhưng thể hiện được tính chất xen kẽ giữa mức nước và áp suất cũng đã được đề cập trong [2-6]. Như đã đề cập ở trên, đối với bể khử khí thì việc duy trì mức nước và áp suất trong bể theo yêu cầu của quá trình công nghệ đóng vai trò then chốt trong bài toán điều khiển bể khử khí, quyết định chất lượng của hệ thống điều khiển. Rất nhiều phương pháp điều khiển cho các biến quá trình này cũng đã được đề xuất. Phương pháp điều khiển tách kênh sử dụng bộ điều khiển PID truyền thống kết hợp với mạng nơ-ron được đề xuất trong [3]. Mức độ tác động xen kẽ giữa mức nước và áp suất là thay đổi theo sự thay đổi phụ tải và chế độ làm việc của bộ khử khí, đồng thời chất lượng của hệ thống điều khiển sẽ bị ảnh hưởng bởi sự tác động của nhiễu. Để khắc phục các yếu tố trên nhằm nâng cao chất lượng của hệ thống điều khiển, phương pháp điều khiển kết hợp mạng nơ-ron và máy học đã được đề xuất trong [4]. Các phương pháp điều khiển hiệu chỉnh hệ số điều khiển (gain scheduling) hay phương pháp điều khiển thích nghi theo mô hình mẫu cũng đã được đề xuất [5, 6]. Phát triển từ các bộ điều khiển PID truyền thống, để có thể hạn chế ảnh hưởng của sự xen kẽ giữa mức nước và áp suất (thường không xác định được một cách rõ

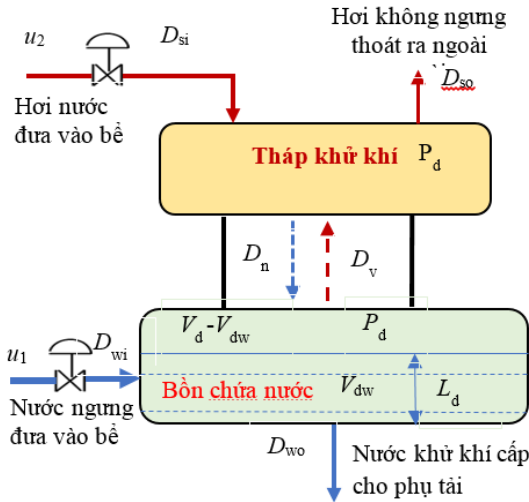
ràng), giải thuật mờ kết hợp với điều khiển PID cũng đã được sử dụng trong [7].

Trên cơ sở phân tích sự tác động xen kênh giữa áp suất và mức nước trong bể khử khí, bài báo này đề xuất phương pháp điều khiển feedforward tách kênh kết hợp với phương pháp điều khiển phản hồi nhằm ổn định đồng thời cả áp suất và mức nước cho bể khử khí tại các giá trị đặt phù hợp với yêu cầu công nghệ. Sự tác động xen kênh giữa biến quá trình này lên biến quá trình khác được xem như nhiễu đầu vào. Do đó, việc tính toán các đặc lượng bù nhiễu thông qua phương pháp điều khiển feedforward sẽ kỳ vọng loại bỏ được sự ảnh hưởng xen kênh và do đó nâng cao chất lượng của hệ thống điều khiển cho bể khử khí.

Các đóng góp mới của bài báo bao gồm: (i) Dẫn ra mô hình toán học đầy đủ cho bể khử khí DA-3201 tại nhà máy Lọc dầu Dung Quất cũng như xây dựng mô hình mô phỏng sử dụng Matlab/Simulink cho bể khử khí, (ii) Đề xuất phương pháp điều khiển tách kênh kết hợp giữa điều khiển phản hồi và điều khiển feedforward. Phương pháp điều khiển đề xuất là hiệu quả và đơn giản do đó dễ triển khai trong thực tế.

## 2. Mô hình toán bể khử khí

Sơ đồ công nghệ của bể khử khí được mô tả như trong Hình 2. Trong đó, hơi nóng đi vào tháp khử khí ( $D_{si}$ ) (bộ phận gia nhiệt), một phần được ngưng tụ thành nước và chảy xuống bồn chứa nước ( $D_n$ ), một phần thoát ra ngoài ( $D_{so}$ ). Nước ngưng được đưa vào bồn chứa nước ( $D_{wi}$ ), một phần được cấp cho phụ tải sau khi được khử ( $D_{wo}$ ), một phần hơi nước bề mặt của bồn chứa bốc hơi lên tháp khử khí ( $D_v$ ).



**Hình 2.** Sơ đồ công nghệ của bể khử khí

Từ đó, ta có phương trình cân bằng khối lượng hơi như sau:

$$\frac{d[(V_d - V_{dw})\rho_s]}{dt} = D_{si1} + D_v - D_n - D_{so} \quad (1)$$

Trong đó,  $V_d$  là thể tích bể khử khí,  $V_{dw}$  là thể tích nước chứa trong bể khử khí,  $D_{si1}$ ,  $D_v$ ,  $D_n$  và  $D_{so}$  lần lượt là lưu lượng hơi đưa vào tháp khử khí, lưu lượng nước bốc hơi từ bề mặt của bồn chứa lên tháp khử khí, lưu lượng nước ngưng tụ từ tháp khử khí xuống bồn chứa, và lưu lượng xả thải ra ngoài,  $\rho_s$  là tỷ trọng hơi bão hòa.

Phương trình cân bằng khối lượng nước được mô tả như sau:

$$\begin{aligned} \frac{d(V_{dw}\rho_w)}{dt} &= V_{dw} \frac{d\rho_w}{dt} + \rho_w \frac{dV_{dw}}{dt} \\ &= D_{wi} + D_{si2} + D_n - D_v - D_{wo} \end{aligned} \quad (2)$$

Trong đó,  $D_{si2}$  và  $D_{wo}$  lần lượt là lưu lượng hơi nước đi vào bồn chứa nước và lưu lượng nước đi ra khỏi bồn chứa cấp cho các phụ tải,  $\rho_w$  là tỷ trọng nước.

Phương trình cân bằng năng lượng của dòng hơi và nước trao đổi trong bể khử khí được biểu diễn như sau:

$$\begin{aligned} \frac{d[(V_d - V_{dw})\rho_s H_s + V_{dw}\rho_w H_w + 0,2c_d M_d T_s - AV_d P_d]}{dt} \\ = D_{si} H_{si} + D_{wi} H_{wi} - D_{so} H_s - D_{wo} H_w \end{aligned} \quad (3)$$

Trong đó,  $H_s$ ,  $H_w$ ,  $H_{si}$ ,  $H_{wi}$  lần lượt là enthalpy của hơi bão hòa, enthalpy nước bão hòa, enthalpy của hơi đi vào bể và enthalpy của nước đi vào bể,  $D_{si} = D_{si1} + D_{si2}$  là tổng lưu lượng hơi đi vào bể khử khí,  $c_d$  là nhiệt dung riêng của kim loại chế tạo bể khử khí,  $M_d$  là khối lượng kim loại chế tạo bể khử khí,  $T_s$  là nhiệt độ hơi bão hòa,  $A$  là hệ số chuyển đổi đơn vị, và  $P_d$  là áp suất của hơi bão hòa.

Phương trình cân bằng lượng nước ngưng tụ như sau:

$$D_n(H_s - H_w) = D_{wi}(H_w - H_{wi}) - D_{si1}(H_{si} - H_s) \quad (4)$$

Theo tính chất của nước và hơi, các tham số bão hòa sẽ phụ thuộc vào tỷ trọng hơi bão hòa ( $\rho_s$ ), theo các phương trình sau [8].

$$\begin{aligned} \frac{dH_s}{dt} &= \frac{dH_s}{d\rho_s} \frac{d\rho_s}{dt} = f_1 \frac{d\rho_s}{dt} \\ \frac{dH_w}{dt} &= \frac{dH_w}{d\rho_s} \frac{d\rho_s}{dt} = f_2 \frac{d\rho_s}{dt} \\ \frac{d\rho_w}{dt} &= \frac{d\rho_w}{d\rho_s} \frac{d\rho_s}{dt} = f_3 \frac{d\rho_s}{dt} \\ \frac{dt_s}{dt} &= \frac{dt_s}{d\rho_s} \frac{d\rho_s}{dt} = f_4 \frac{d\rho_s}{dt} \\ \frac{dP_d}{dt} &= \frac{dP_d}{d\rho_s} \frac{d\rho_s}{dt} = f_5 \frac{d\rho_s}{dt} \end{aligned} \quad (5)$$

Trong đó, các hàm  $f_i$ ,  $i=1\div 5$ , có thể được tính bằng công thức với các tham số bão hòa tra theo tiêu chuẩn công nghiệp IAPWS IF97 đối với các tính chất nhiệt động học của nước và hơi [8].

Kết hợp các phương trình (1), (2), (3) với phương trình (5) ta có:

$$\begin{aligned} [(V_d - V_{dw})\rho_s f_1 + (V_d - V_{dw})\rho_s f_2 + 0,2c_d M_d f_4 - AV_d f_5] \frac{d\rho_s}{dt} \\ = D_{si1}(H_{si} - H_s) + D_{si2}(H_{si} - H_w) + D_n(H_s - H_w) \\ + D_{wi}(H_w - H_{wi}) - D_v(H_s - H_w) \end{aligned} \quad (6)$$

Đặt

$$F = \frac{[(V_d - V_{dw})\rho_s f_1 + (V_d - V_{dw})\rho_s f_2 + 0,2c_d M_d f_4 - AV_d f_5]}{H_s - H_w}$$

Khi đó, ta có lưu lượng nước bốc hơi lên tháp khử khí từ bề mặt của bồn chứa nước sẽ là

$$D_v = \frac{D_{si2}(H_{si} - H_w)}{H_s - H_w} - F \frac{d\rho_s}{dt} \quad (7)$$

Từ phương trình (2), ta suy ra

$$\frac{dV_{dw}}{dt} = \frac{1}{\rho_w} \left( D_{wi} + D_{si2} + D_n - D_{wo} - \frac{D_{si2}(H_{si} - H_w)}{H_s - H_w} \right) + \frac{1}{\rho_w} \left( F \frac{d\rho_s}{dt} - V_{dw} f_3 \frac{d\rho_s}{dt} \right) \quad (8)$$

Từ phương trình (1), ta có

$$\frac{d\rho_s}{dt} = \frac{[\rho_w(H_s - H_w)(D_{si1} - D_n - D_{so}) + D_{si2}(\rho_w - \rho_s)(H_{si} - H_w)]}{\rho_w(H_s - H_w) \left( V_d - V_{dw} + F + \left( \frac{\rho_w}{\rho_s} \right) V_{dw} f_3 - F \right)} + \frac{\rho_s(D_{wi} + D_{si2} + D_n - D_{wo})}{\rho_w \left( V_d - V_{dw} + F + \left( \frac{\rho_w}{\rho_s} \right) V_{dw} f_3 - F \right)} \quad (9)$$

Phương trình (8) là phương trình động học thể hiện sự biến thiên của thể tích nước ( $V_{dw}$ ) chứa trong bể khử khí, mức nước trong bể có thể nội suy từ các thông số hình học của bể. Phương trình (9) mô tả quá trình động học của tỷ trọng hơi ( $\rho_s$ ), từ đó bằng phương pháp hồi quy (hoặc tra bảng) để dẫn ra áp suất của bể khử khí.

### 3. Thiết kế bộ điều khiển cho bể khử khí

Từ sơ đồ công nghệ (Hình 2) và mô hình toán của bể khử khí đã dẫn ra ở trên có thể thấy rằng bể khử khí là đối tượng đa biến (2 đầu vào, 2 đầu ra). Mục tiêu của hệ thống điều khiển là nhằm duy trì sự ổn định của mức nước và áp suất trong bể khử khí. Tuy nhiên, từ các phương trình (8) và (9) có thể thấy có sự tác động xen kênh giữa áp suất và mức nước trong bể. Về mặt vật lý của quá trình công nghệ, sự ảnh hưởng xen kênh này thể hiện như sau:

- Khi mức nước trong bể thay đổi (do điều chỉnh lưu lượng nước đưa vào, sự thay đổi phụ tải kéo theo sự thay đổi của lưu lượng nước đầu ra, ...) sẽ dẫn đến sự thay đổi áp suất trong bể (do sự thay đổi của lượng hơi bốc lên từ mặt thoáng, sự thay đổi của thể tích hơi trong bể, ...).

- Khi áp suất trong bể thay đổi (ví dụ như do điều chỉnh lưu lượng hơi đưa vào) cũng sẽ dẫn đến sự thay đổi của mức nước trong bể (sự thay đổi của lượng nước ngưng tụ).

Do đó, hệ thống điều khiển được thiết kế phải có khả năng điều chỉnh được mức nước trong bể (thông qua tín hiệu điều khiển van tự động để khống chế mức nước cấp vào), điều chỉnh được áp suất trong bể (thông qua van tự động để khống chế lượng hơi nước cấp vào), đồng thời phải có khả năng khử được tối đa sự ảnh hưởng xen kênh của mức nước lên áp suất và ngược lại.

Do đó, trong bài báo này, tác giả đề xuất phương pháp điều khiển kết hợp giữa điều khiển phản hồi và điều khiển feedforward cho bể khử khí. Sơ đồ cấu trúc của hệ thống điều khiển được mô tả như trong Hình 3. Trong đó, để ổn định hóa mức nước và áp suất trong bể khử khí, 02 bộ điều khiển tỷ lệ - tích phân (PI1 và PI2) được thiết kế và làm việc độc lập. Bộ điều khiển PI1 có nhiệm vụ hiệu chỉnh sai lệch giữa mức nước thực tế đo được trong bồn chứa nước,  $L_d$  (thông qua cảm biến mức) và mức nước đặt đầu vào  $L_d^0$  (xác định bởi yêu cầu công nghệ). Tín hiệu ra của bộ điều khiển PI1 sẽ được sử dụng để tính toán tín hiệu tác động lên van điều khiển mức để hiệu chỉnh lưu lượng nước

ngưng đưa vào bồn chứa,  $D_{wi}$ . Áp suất trong bể khử khí  $P_d$  được đo tại tháp khử khí và phản hồi về bộ điều khiển PI2 để so sánh với áp suất đặt  $P_d^0$ , từ đó tính toán tín hiệu điều khiển tác động lên van điều khiển áp suất để điều chỉnh lượng hơi nước đưa vào bể  $D_{si}$ . Để khử sự tác động xen kênh giữa mức nước và áp suất, các bộ bù feedforward FFC1 và FFC2 được thiết kế dựa trên nguyên tắc cân bằng năng lượng và lưu lượng.

Trong bài báo này, tham số của các bộ điều khiển PI được xác định dựa trên giá trị tham khảo của các bộ PI hiện được thiết kế tại nhà máy Lọc dầu Dung Quất và tinh chỉnh thông qua quá trình mô phỏng, kết quả thu được như sau:

PI1:  $K_p = 350, K_I = 5;$

PI2:  $K_p = 20, K_I = 0,7.$

Việc tính toán tín hiệu bù cho các bộ bù feedforward được thực hiện như sau:

Từ phương trình cân bằng năng lượng của dòng hơi và nước ở (3) và phương trình cân bằng lưu lượng ở chế độ xác lập, ta có:

$$D_{si}H_{si} + D_{wi}H_{wi} - D_{so}H_s - D_{wo}H_w = 0, \quad (10)$$

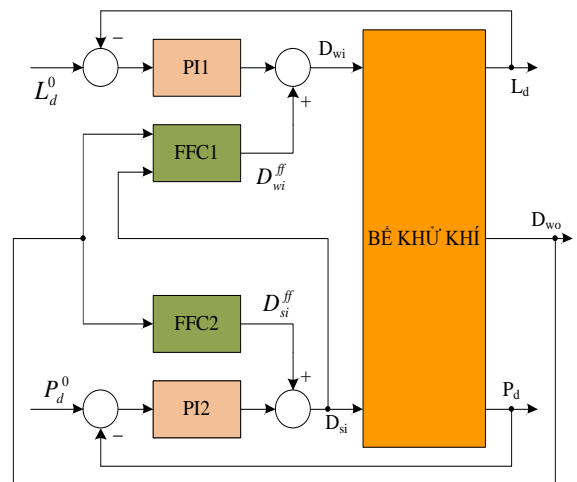
$$D_{wi} + D_{si} - D_{so} - D_{wo} = 0. \quad (11)$$

Từ đó, ta tính toán được lưu lượng nước cần bù do sự tác động xen kênh của áp suất hơi lên mức nước. Hay nói cách khác, tín hiệu ra của bộ bù feedforward FFC1 được cho như sau:

$$D_{wi}^{ff} = D_{wo} - D_{so} - D_{si}. \quad (12)$$

Tương tự, lưu lượng hơi cần bù để điều chỉnh áp suất do sự tác động xen kênh của sự thay đổi mức nước (tín hiệu của bộ bù feedforward FFC2) như sau:

$$D_{si}^{ff} = \frac{D_{wo}H_w + D_{so}H_s - (D_{wo} - D_{so})H_{wi}}{H_{si} - H_{wi}}. \quad (13)$$



Hình 3. Sơ đồ cấu trúc hệ thống điều khiển bể khử khí.

### 4. Mô phỏng và đánh giá kết quả

Trong bài báo này, các tham số chế tạo và công nghệ của bể khử khí được trích xuất từ tài liệu kỹ thuật của bể khử khí DA-3201 tại nhà máy Lọc dầu Dung Quất, như được mô tả trong Bảng 1.

Ngoài ra, phương trình (8) thể hiện động học của thể tích nước trong bể, do đó, để tính toán chiều cao mức nước trong bể ta sử dụng quan hệ sau:

$$V = L \left[ R^2 \cos^{-1} \left( 1 - \frac{H}{R} \right) - (H - R) \sqrt{H(2R - H)} \right]. \quad (14)$$

Trong đó,  $L = 15,103$  m là chiều dài bể,  $R = 1,85$  m là bán kính hình trụ. Từ đó, ta thu được kết quả như trong Bảng 2 và được nội suy trong quá trình mô phỏng thông qua khối Look up table của Matlab.

Tương tự, từ phương trình động học của tỷ trọng hơi ở (9), ta cũng có thể nội suy ra áp suất bằng cách tra bảng tiêu chuẩn công nghiệp IAPWS IF97 [7], kết quả ta thu được như Bảng 3

**Bảng 1.** Tham số chế tạo và công nghệ bể khử khí dùng cho mô phỏng

Tham số	Ý nghĩa	Giá trị
$V_d$	Thể tích bể khử khí	160 m <sup>3</sup>
$\rho_w$	Tỷ trọng nước	949 kg/m <sup>3</sup>
$H_s$	Enthalpi hơi bão hòa	2693 KJ/kg
$H_w$	Enthalpi nước bão hòa	640,7 KJ/kg
$H_{si}$	Enthalpi hơi đi vào bể	2767 KJ/kg
$H_{wi}$	Enthalpi nước đi vào bể	252 KJ/kg
$cd$	Nhiệt dung riêng của kim loại chế tạo bể	0,46 KJ/(kgK)
$M_d$	Khối lượng kim loại chế tạo bể	31815 kg
$T_s$	Nhiệt độ hơi bão hòa	111,23 °C
$A$	Hệ số chuyển đổi đơn vị	10

**Bảng 2.** Quy đổi thể tích ra chiều cao cột nước

$V_{dw}$ (m <sup>3</sup> )	3,41	9,48	17,1	25,84	35,4	45,63	56,3	67,27	78,4
$L_d$ (m)	0,2	0,4	0,6	0,8	1	1,2	1,4	1,6	1,8
$V_{dw}$ (m <sup>3</sup> )	89,57	106,6	111,5	121,9	131,9	141	149,2	156,2	161,2
$L_d$ (m)	2	2,2	2,4	2,6	2,8	3	3,2	3,4	3,6

**Bảng 3.** Quy đổi tỷ trọng hơi ra áp suất hơi bão hòa

$\rho_s$ (kg/m <sup>3</sup> )	0,7	0,75	0,8	0,86	0,91	0,97	1,02	0,7	0,75
$P_d$ (kg/cm <sup>2</sup> )	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,2	1,3

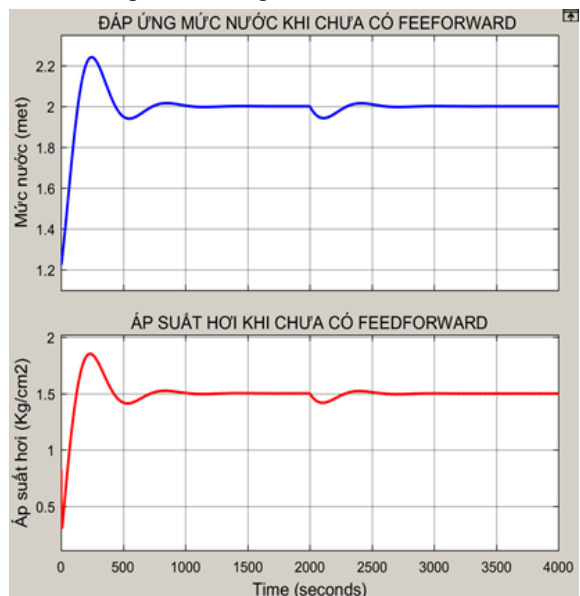
Để kiểm nghiệm tính phù hợp của mô hình bể khử khí dẫn ra trong Mục 2, phân tích và thấy được sự tác động xen kẽ giữa áp suất và mức nước cũng như sự hiệu quả của các bộ bù feedforward được thiết kế ở Mục 3, quá trình mô phỏng được thực hiện cho các trường hợp sau. Theo yêu cầu công nghệ, để quá trình tách khí được tốt nhất thì áp suất trong bể cần được duy trì ở mức 1,5 kg/cm<sup>2</sup>. Đối với yêu cầu về mức nước trong bể, tùy thuộc từng chế độ làm việc mà yêu cầu cần duy trì mức nước ở các giá trị khác nhau. Trong chế độ làm việc bình thường, mức nước được yêu cầu duy trì ở mức 2m, tương ứng với 54% chiều cao của bể.

#### 4.1. Trường hợp 1: Khi chưa có bộ bù feedforward

##### 4.1.1. Khi tăng phụ tải

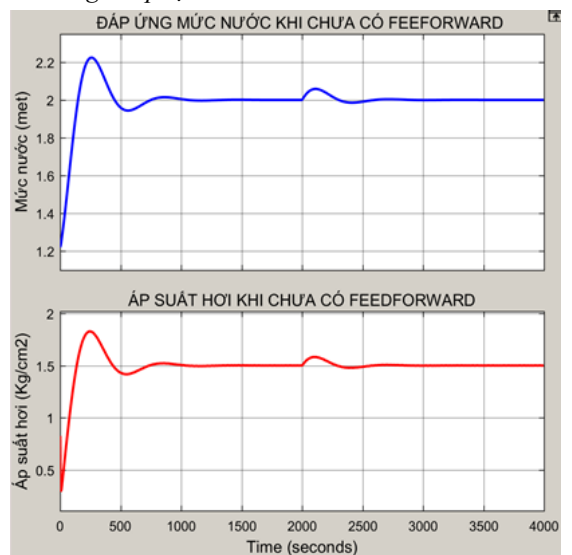
Hình 4 mô tả đáp ứng của mức nước và áp suất trong bể

khử khí khi tăng phụ tải (tăng lưu lượng nước đầu ra cấp cho tải) từ 100 m<sup>3</sup>/h lên 150 m<sup>3</sup>/h tại thời điểm  $t = 2000$  giây trong trường hợp chưa có bộ bù feedforward, nghĩa là chỉ do các bộ điều khiển mức (PI1) và bộ điều khiển áp suất (PI2) tác động. Kết quả mô phỏng cho thấy khi tăng lưu lượng nước đầu ra, chiều cao mức nước trong bể lập tức giảm xuống, điều này dẫn đến làm tăng thể tích chứa hơi và làm giảm lượng hơi bốc lên từ mặt thoáng, dẫn đến áp suất hơi trong bể cũng giảm theo. Quá trình thay đổi đó thể hiện sự tác động xen kẽ giữa mức nước và áp suất. Sự sụt giảm của mức nước và áp suất được nhận biết bởi các bộ điều khiển PI1 và PI2 do đó sẽ tác động các van điều chỉnh lưu lượng nước cấp đầu vào và van điều chỉnh lưu lượng hơi đầu vào để bù lại sự sụt giảm của mức nước và áp suất trở về giá trị đặt ban đầu.



**Hình 4.** Đáp ứng mức nước và áp suất khi tăng phụ tải trong trường hợp chỉ có các bộ PII và PI2 tác động

##### 4.1.2. Khi giảm phụ tải



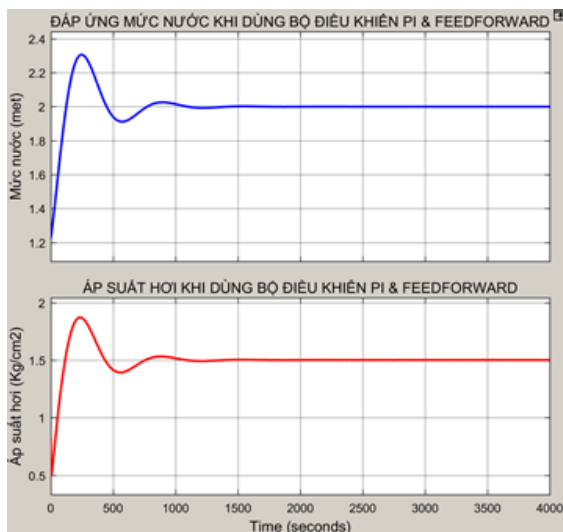
**Hình 5.** Đáp ứng mức nước và áp suất khi giảm phụ tải trong trường hợp chỉ có các bộ PII và PI2 tác động

Kết quả mô phỏng của hệ thống điều khiển dưới tác động của các bộ điều khiển PI1 và PI2 (chưa có bù feedforward) trong trường hợp giảm phụ tải từ 150 m<sup>3</sup>/h

xuống  $100 \text{ m}^3/\text{h}$  tại thời điểm  $t = 2000\text{s}$  được mô tả như trong Hình 5. Sự thay đổi này của phụ tải làm cho mức nước trong bể lập tức tăng lên và do đó kéo theo áp suất cũng tăng lên. Điều đó thể hiện rõ yếu tố xen kênh giữa mức nước và áp suất của hệ thống.

#### 4.2. Khi có bộ bù feedforward

Tương tự như trên, ở đây trước tiên ta cũng tiến hành tăng phụ tải từ  $100 \text{ m}^3/\text{h}$  lên  $150 \text{ m}^3/\text{h}$  tại thời điểm  $t = 2000$  giây. Kết quả mô phỏng đáp ứng của mức nước và áp suất khi có sự tác động bù xen kênh của các bộ bù feedforward FFC1 và FFC2 được thể hiện như trong



Hình 6. Đáp ứng mức nước và áp suất khi tăng phụ tải trong trường hợp có sự tác động của các bộ bù feedforward

### 5. Kết luận

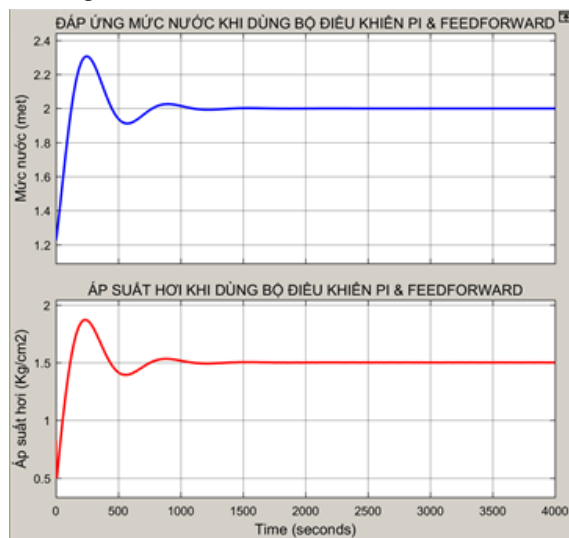
Bài báo đề cập vấn đề mô hình hóa và điều khiển bể khử khí, trong đó đã xây dựng chi tiết mô hình toán cho bể khử khí dựa trên các nguyên lý về cân bằng năng lượng và khối lượng cho dòng hơi và nước trong bể khử khí. Từ đó, phương pháp điều khiển feedforward tách kênh cho bể khử khí đã được đề xuất nhằm duy trì mức nước và áp suất trong bể khử khí tại các giá trị đặt phù hợp với yêu cầu công nghệ. Kết quả mô phỏng bằng Matlab/Simulink cho thấy sự phù hợp của mô hình được xây dựng cũng như hiệu quả của phương pháp điều khiển đề xuất.

### TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] I. Opris, "A deaerator model", Recent Advances in Continuum Mechanics, Hydrology and Ecology, 2013, pp. 172-176.
- [2] J. Zhao, Z. Yao, and L. Sun, "New type of parallel deaerator's water level and pressure control", International Symposium on Computer, Consumer and Control, 2014, pp. 143-145.
- [3] P. Wang, H. Meng, and Q. Ji, "PID neural network decoupling

Hình 6. Với sự tác động của các bộ bù feedforward, làm cho quá trình thay đổi của phụ tải được "dự đoán" trước và các bộ feedforward FFC1, FFC2 tính toán trực tiếp lưu lượng nước và hơi cần bổ sung để ổn định mức nước và áp suất hơi tại các giá trị đặt tương ứng, do đó gần như không nhận biết được sự thay đổi của mức nước và áp suất khi tăng phụ tải.

Trong trường hợp giảm phụ tải thì ta cũng thu được kết quả mô phỏng tương tự như trường hợp tăng phụ tải (Hình 7), nghĩa là mức nước và áp suất được duy trì gần như không đổi.



Hình 7. Đáp ứng mức nước và áp suất khi giảm phụ tải trong trường hợp có sự tác động của các bộ bù feedforward

control of deaerator pressure and water level control system", IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics, 2014, pp. 2298-2303.

- [4] W.P. Mahardhika et al., "Design of deaerator storage tank level control system at industrial steam power plant with comparison of neural network (NN) and extreme learning machine (ELM) method", International Symposium on Electronics and Smart Devices, 2017, pp. 40-45.
- [5] C.X. Lu, R.D. Bell, and N.W. Rees, "Scheduling control of a deaerator plant", Control Engineering Practice, vol. 6, 1998, pp. 1541-1548.
- [6] G. Liang, "A class of model reference adaptive decouple control based on RBF neural network in deaerator system", 3<sup>rd</sup> IEEE Conference on Industrial Electronics and Applications, 2008, pp. 1929-1934.
- [7] S. Gomathy and M.T. Anitha, "Deaerator storage tank level and deaerator pressure control using soft computing", International Journal for Science and Advance Research in Technology, vol. 1, no. 5, 2015, pp. 137-142.
- [8] IAPWS Industrial Formulation 1997 for the Thermodynamic Properties of Water and Steam, International Steam Tables, Springer, Berlin, Heidelberg.

(BBT nhận bài: 23/4/2019, hoàn tất thủ tục phản biện: 20/5/2019)