

ĐỘNG HỌC VÀ ĐIỀU KHIỂN NHIỆT ĐỘ ĐIỂM SƯƠNG TRONG BUỒNG SẤY GIẤY

DYNAMICS AND DEW POINT TEMPERATURE CONTROL IN THE PAPER DRYING SECTION

Trần Kim Quyên¹, Đoàn Quang Vinh², Lê Khắc Trường³

¹Trường Cao đẳng Công nghiệp Tuy Hòa; trankimquyen78@gmail.com

²Đại học Đà Nẵng; dqvinhdn@gmail.com

³Đại học Bách khoa Hà Nội; truonglekhac@gmail.com

Tóm tắt - Trong dây chuyền xeo giấy, độ ẩm của giấy là chỉ tiêu quan trọng của chất lượng giấy, điều khiển độ ẩm giấy do hệ thống sấy đảm nhận. Điều khiển gió buồng sấy để đảm bảo độ ẩm có ba nhiệm vụ: Điều khiển gia nhiệt và thổi gió nóng, điều khiển nhiệt độ điểm sương và điều khiển cân bằng gió vào - ra. Nhiệt độ điểm sương trong buồng sấy là đại lượng vật lý rất quan trọng ảnh hưởng lớn đến tốc độ bay hơi của giấy khi sấy. Nhiệt độ điểm sương của không khí trong buồng sấy được tính thông qua hai đại lượng độ ẩm tương đối (%RH) và nhiệt độ trung bình của không khí trong buồng sấy. Nội dung bài báo phân tích, xây dựng động học nhiệt độ điểm sương và khảo sát ảnh hưởng của các yếu tố tới nhiệt độ điểm sương trong buồng sấy, từ đó thiết kế hệ điều khiển nhiệt độ điểm sương.

Từ khóa - điểm sương; độ ẩm; cân bằng gió; động học; buồng sấy

1. Đặt vấn đề

Sơ đồ nguyên lý điều khiển buồng sấy đối lưu gió được trình bày trên H1 [1], trong đó có ba nhiệm vụ, cụ thể:

- Điều khiển nhiệt độ gió nóng, khô cấp cho buồng sấy: Gió lấy từ ngoài trời lưu lượng W_{a1} được gia nhiệt một phần từ không khí thải qua bộ HRU (thu hồi nhiệt), sau đó gió được đưa sang thiết bị trao đổi nhiệt gia nhiệt bằng hơi bão hòa, điều khiển nhiệt độ gió sấy thông qua van điều khiển lưu lượng hơi. Gió nóng, khô được thổi vào hai mặt giấy bằng vòi phun. Động học quá trình sấy gió trong buồng sấy được nghiên cứu trong [2];

- Điều khiển cân bằng gió vào và gió ra, với mục tiêu đảm bảo gió nóng chiếm giữ khoảng không giữa hai lô (vùng sấy) để truyền nhiệt cho mặt giấy phục vụ quá trình bay hơi, nên cần điều khiển gió nóng thổi vào buồng sấy phải cân bằng với gió hút khí thải ra khỏi buồng sấy giữ cho không có không khí lạnh từ ngoài hút vào vùng sấy. Hệ điều khiển cân bằng gió vào - ra được gọi là điều khiển Zero level, được nghiên cứu trong [3];

- Điều khiển môi trường sấy thông qua nhiệt độ điểm sương: Khi sấy giấy, nước bay hơi vào không khí, làm cho độ ẩm không khí tăng, dẫn đến tăng nhiệt độ điểm sương. Khi nhiệt độ điểm sương tăng cao thì khả năng bay hơi nước từ giấy càng giảm, nếu nhiệt độ điểm sương gần với nhiệt độ môi trường thì nước có xu hướng ngưng tụ.

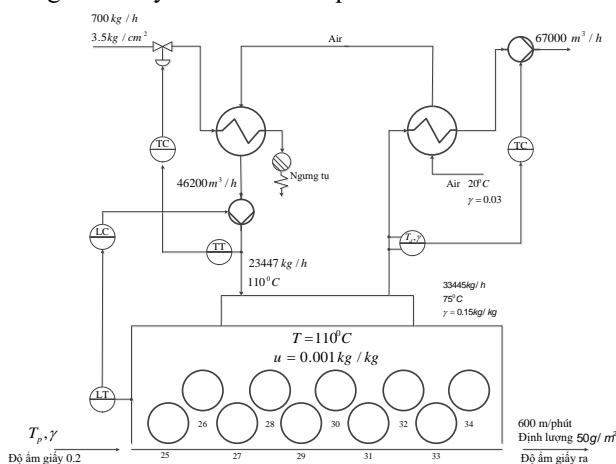
Nhiệt độ điểm sương trong buồng sấy được giữ ổn định thấp hơn nhiệt độ môi trường sấy khoảng $30 \div 40$ °C. Điều khiển nhiệt độ điểm sương thông qua điều chỉnh lưu lượng gió ra W_{a2} (dùng quạt hút ID)

Nội dung bài báo sẽ nghiên cứu xây dựng mô hình động

Abstract - In the line of paper PMs, the paper moisture is an important indicator of the paper quality and the control of the paper moisture is undertaken by the drying system. The control of the drying section air to ensure moisture has three tasks: air heating and blowing control, dew point temperature control and input-output air balance control. Dew point temperature in the drying section is the important physical quantity which has a great effect on the evaporation rate of drying paper. Dew point temperature of the air in the drying section is determined by two quantities: the relative humidity (%RH) and the average temperature of the air in the drying section. This paper analyzes and discusses the dynamics of dew point temperature and investigates the effect of elements on dew point temperature in order to design the control system of dew point temperature.

Key words - dew point; moisture; air balance; dynamics; drying section.

học quá trình nhiệt và độ ẩm tương đối của không khí buồng sấy, từ đó tính ra nhiệt độ điểm sương và thiết kế điều khiển nhiệt độ điểm sương, đồng thời khảo sát ảnh hưởng của các yếu tố khác đến quá trình.



Hình 1. Sơ đồ P&ID của buồng sấy

2. Nội dung chính

2.1. Xây dựng mô hình động học cho nhiệt độ điểm sương

2.1.1. Khái niệm chung về nhiệt độ điểm sương

a. Điểm sương và nhiệt độ điểm sương

Điểm sương (dew point) là điểm không khí trở nên bão hòa, hay nói cách khác là điểm chuyển trạng thái của hơi nước sang trạng thái lỏng trong điều kiện áp suất không khí không đổi.

Nhiệt độ điểm sương là nhiệt độ của không khí ẩm đạt

được khi làm lạnh đến khi không khí bão hòa. Nhiệt độ điểm sương phụ thuộc vào 2 yếu tố. Nhiệt độ bầu khô và độ ẩm có trong không khí [4].

Nhiệt độ điểm sương là một yếu tố để đánh giá khả năng chứa thêm hơi nước của không khí ẩm. Nhiệt độ điểm sương gần với nhiệt độ trong buồng thì chênh lệch áp suất khả năng hút ẩm của không khí càng thấp. Trong vận hành buồng sấy giấy, cần duy trì nhiệt độ điểm sương ở một nhiệt độ trung bình trong buồng khoảng 60°C so với nhiệt độ trong buồng là 75°C.

2.1.2. Tính toán nhiệt độ điểm sương

Nhiệt độ điểm sương được tính theo công thức [4].

$$T_d = \frac{b \cdot \alpha(T, RH)}{a - \alpha(T, RH)} \tag{2.1}$$

$$\alpha(T, RH) = \frac{a \cdot T}{b + T} + \ln(RH)$$

$a = 17.27$
 $b = 237.7$

$T_d(^{\circ}C)$: Nhiệt độ điểm sương

$T(^{\circ}C)$: Nhiệt độ trung bình của không khí trong buồng sấy

$RH(\%)$: Độ ẩm tương đối của không khí trong buồng sấy.

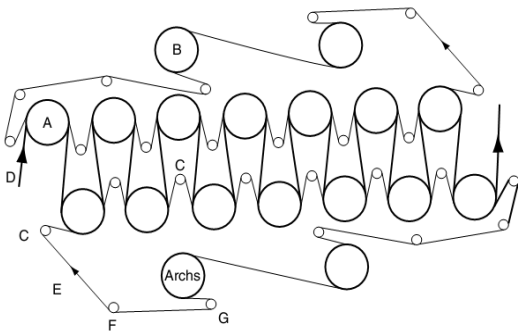
2.2. Xây dựng động học nhiệt độ điểm sương

Nhiệt độ điểm sương được tính theo công thức (2.1).

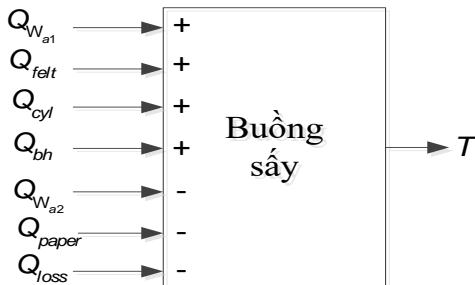
Tính nhiệt độ trung bình và độ ẩm của không khí trong buồng sấy, từ đó ta tính được nhiệt độ điểm sương như sau:

2.2.1. Tính toán biến thiên nhiệt độ không khí trong buồng sấy

Trên Hình 2 mô tả buồng sấy với các lô sấy, các chần, băng giấy. Phương trình cân bằng công suất nhiệt được tính theo mô hình Hình 3.



Hình 2. Lô sấy và bạt sấy



Hình 3. Cân bằng công suất nhiệt để tính nhiệt độ trong buồng sấy

Ta có:

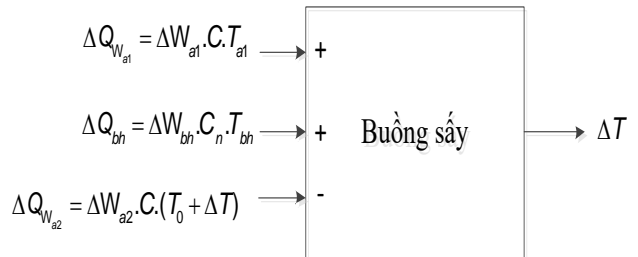
$$Q_{buong} = Q_{W_{a1}} + Q_{W_{bh}} + Q_{bx} + Q_{felt} - Q_p - Q_{W_{a2}} - Q_{loss} \tag{2.2}$$

Trong đó: Q_p công suất do giấy tiêu thụ; Q_{loss} công suất

nhiệt thất thoát; $Q_{W_{a2}}$ công suất do gió hút đưa ra; Q_{bx} công suất nhiệt bức xạ do lô sấy cấp vào không khí trong buồng; Q_{felt} công suất nhiệt do chần sấy truyền nhiệt lên không khí trong buồng; $Q_{W_{a1}}$ công suất nhiệt do gió nóng cấp vào; $Q_{W_{bh}}$ công suất nhiệt do hơi nước bay ra từ giấy; Q_{buong} công suất nhiệt tích lũy bên trong buồng.

$Q_p, Q_{felt}, Q_{bx}, Q_{loss}$ trong điều kiện làm việc ổn định rất ít khi thay đổi và ảnh hưởng của nó đến sự biến động nhiệt độ không khí trong buồng là không đáng kể. $Q_{W_{bh}}, Q_{W_{a2}}, Q_{W_{a1}}$ là các yếu tố tham gia trực tiếp, nên có ảnh hưởng mạnh đến sự biến đổi nhiệt độ không khí trong buồng sấy.

Từ nhận xét trên, khi xây dựng động học quá trình nhiệt không khí trong buồng sấy, ta bỏ qua ảnh hưởng của $Q_p, Q_{felt}, Q_{bx}, Q_{loss}$ đến biến thiên nhiệt độ không khí trong buồng sấy. Với giả thiết trên mô hình động học của biến thiên nhiệt độ buồng sấy được mô tả như Hình 4.



Hình 4. Mô hình động học biến thiên nhiệt độ trung bình trong buồng sấy

Phương trình cân bằng năng lượng tổng quát trong buồng

$$m \cdot C \cdot \frac{dT}{dt} = W_{a1} \cdot C \cdot T_{a1} + W_{bh} \cdot C_n \cdot T_n - W_{a2} \cdot C \cdot T \tag{2.3}$$

Trong đó: $m(kg)$ là khối lượng không khí có trong buồng; C là nhiệt dung riêng của không khí; $W_{a1}(kg/s)$ lưu lượng không khí nóng thổi vào buồng sấy; $W_{a2}(kg/s)$ là lưu lượng không khí hút ra khỏi buồng; $W_{bh}(kg/s)$ là lượng nước bốc hơi từ giấy; C_n là nhiệt dung riêng của hơi nước bay hơi từ giấy

Tuyến tính hóa quanh điểm làm việc (2.3):

$$W_{a1} = W_{a10} + \Delta W_{a1}$$

$$W_{a2} = W_{a20} + \Delta W_{a2}$$

$$W_{bh} = W_{bh0} + \Delta W_{bh}$$

$$T = T_0 + \Delta T$$

Giả thiết biến thiên khối lượng trong buồng sấy đã được mạch vòng cân bằng gió điều khiển Zero Level đáp ứng nhanh nên biến thiên Δm không xét đến. Nhiệt độ không khí vào T_{a1} được điều khiển ổn định, nhiệt độ nước trong không khí T_n gần như không đổi.

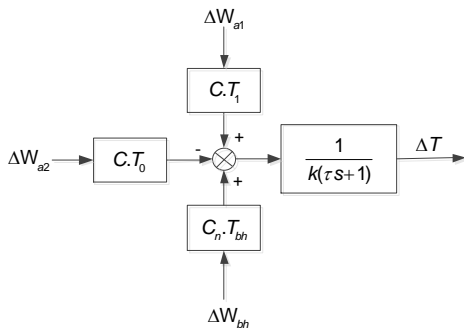
$$m \cdot C \cdot \frac{d\Delta T}{dt} = \Delta W_{a1} \cdot C \cdot T_{a1} + \Delta W_{bh} \cdot C_n \cdot T_n - \Delta W_{a2} \cdot C \cdot T_0 - W_{a20} \cdot C \cdot \Delta T \tag{2.4}$$

Biến đổi ta thu được:

$$k(\tau s + 1)\Delta T = \Delta W_{a1} \cdot C \cdot T_{a1} + \Delta W_{bh} \cdot C_n \cdot T_n - \Delta W_{a2} \cdot C \cdot T_0 \tag{2.5}$$

Trong đó: $\tau = \frac{m}{W_{a20}}; k = W_{a20} \cdot C$

Mô hình động học của biến thiên nhiệt độ trung bình trong buồng sấy được thể hiện như Hình 5.



Hình 5. Mô hình động học biến thiên nhiệt độ trung bình trong buồng sấy

2.2.2. Động học quá trình độ ẩm tương đối không khí trong buồng sấy

Từ phương trình cân bằng khối lượng nước trong không khí của buồng sấy, ta có:

$$m \cdot \frac{dSH}{dt} = W_{a1} \cdot 0,001 + W_{bh} - W_{a2} \cdot SH \tag{2.6}$$

Trong đó: SH là độ ẩm tỷ lệ của không khí trong buồng (kg/kg), 0,001 là độ ẩm tỷ lệ không khí nóng thổi vào buồng.

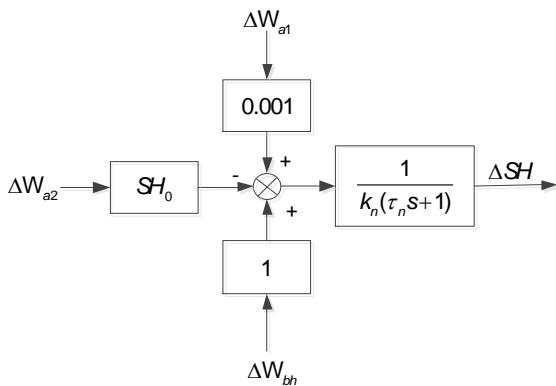
Với giả thiết như 2.2.1, tuyến tính hóa quanh điểm làm việc và biến đổi phương trình (2.6) ta được phương trình động học biến thiên độ ẩm tỷ lệ không khí trong buồng ΔSH:

$$m \cdot \frac{d\Delta SH}{dt} = \Delta W_{a1} \cdot 0,001 + \Delta W_{bh} - \Delta W_{a2} \cdot SH_0 - W_{a20} \cdot \Delta SH \tag{2.7}$$

Biến đổi (2.7) ta có:

$$k_n (\tau_n s + 1) \Delta SH = \Delta W_{a1} \cdot 0,001 + \Delta W_{bh} - \Delta W_{a2} \cdot SH_0 \tag{2.8}$$

Với: $\tau_n = \frac{m}{W_{a20}}$; $k_n = W_{a20}$



Hình 6. Mô hình động học độ ẩm tỉ lệ của không khí trong buồng sấy

2.2.3. Tính toán độ ẩm tương đối trong buồng sấy

Độ ẩm tương đối RH của không khí trong buồng là tỉ số giữ áp suất riêng phần hơi nước của không khí trong buồng với áp suất riêng phần hơi nước tại điểm bão hòa ở cùng một nhiệt độ xác định. Công thức tính độ ẩm tương đối như sau:

$$P_w = \frac{1.6078 * P_{baro} * SH}{1 + 0.678 * SH}$$

$$P_{sw} = \frac{e^{\frac{77.345 + 0.0057 * (T + 273) - 7235}{T + 273}}}{(T + 273)^{8.2}} \tag{2.9}$$

$$\%RH = 100 * \frac{P_s}{P_{sw}}$$

Trong đó: P_{baro}=101325 Pa là áp suất khí quyển;

P_w Áp suất riêng phần của nước;

P_{sw} Áp suất riêng phần của nước khi không khí bão hòa tại nhiệt độ xác định;

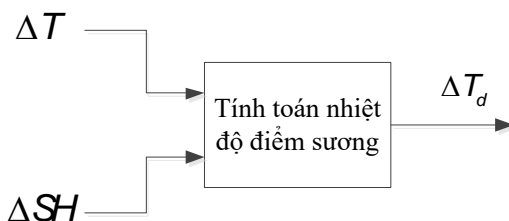
T là nhiệt độ của không khí trong buồng tính bằng °C;

SH là độ ẩm tỉ lệ của không khí trong buồng sấy (kg/kg);

%RH là độ ẩm tương đối của không khí trong buồng (%).

2.3. Mô hình tính toán biến thiên nhiệt độ điểm sương

Nhiệt độ điểm sương tính toán từ công thức (2.1) và công thức (2.9) kết hợp với phương trình biến thiên nhiệt độ, biến thiên độ ẩm, giả thiết phần 2.1 và 2.2, ta xây dựng được mô hình tính biến thiên nhiệt độ điểm sương trên Hình 7.



Hình 7. Tính toán biến thiên nhiệt độ điểm sương

2.4. Xây dựng mạch vòng điều khiển nhiệt độ điểm sương

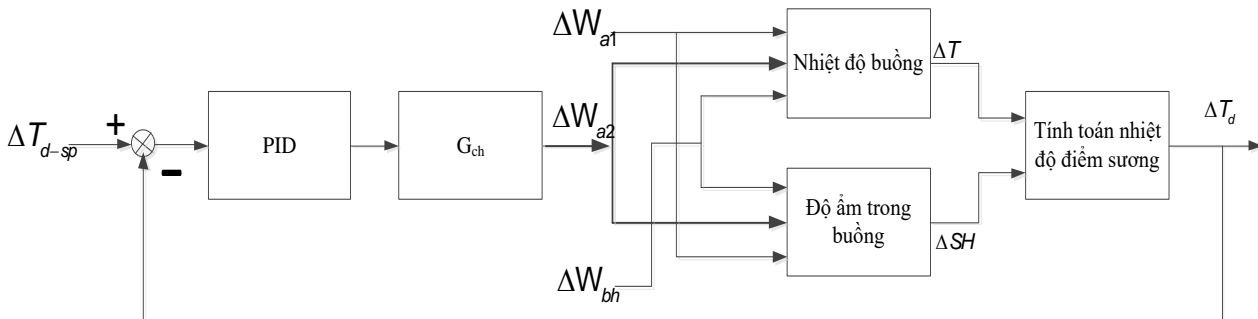
Kết hợp 3 mô hình Hình 5, Hình 6, Hình 7, ta xây dựng mạch vòng nhiệt độ điểm sương trên Hình 9, trong đó:

Biến tác động: ΔW_{a2};

Biến cần điều khiển: ΔT_d;

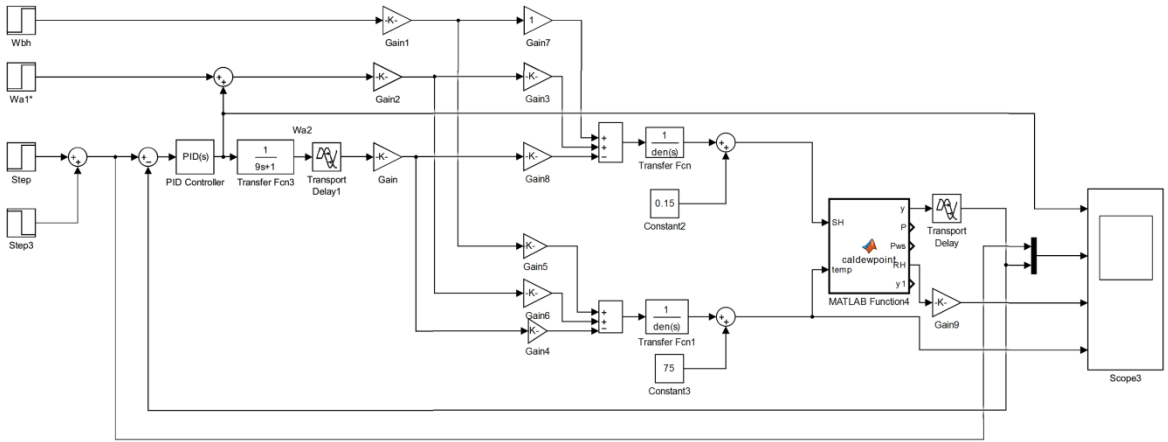
Nhiều chính là ΔW_{bh} và ΔW_{a1};

Cơ cấu chấp hành là quạt hút G_{ch}



Hình 8. Cấu trúc điều khiển nhiệt độ điểm sương buồng sấy

2.4.1. Sơ đồ mô phỏng điều khiển nhiệt độ điểm sương trên Matlab Simulink



Hình 9. Sơ đồ mô phỏng mạch điều khiển nhiệt độ điểm sương trên Matlab Simulink

2.4.2. Mô phỏng

Thông số mô phỏng:

- $SH_0 = 0.15 \text{ kg/ kg}$
- $W_{a20} = 4.75(\text{kg/ s})$
- $T_0 = 75^\circ\text{C}$
- $m = 120(\text{kg})$
- $C = 1005(\text{J/ kg.}^\circ\text{C} + 273)$
- $C_n = 1872(\text{J/ kg.}^\circ\text{C} + 273)$
- $T_d = 60^\circ\text{C}$
- $T_n = 75^\circ\text{C}$
- $T_{at} = 110^\circ\text{C}$
- $W_{a10} = 3,25\text{kg/ s}$
- $W_{bh0} = 1.5\text{kg/ s}$

Mô phỏng hệ thống kín

- Xác định tham số PID theo toolbox của matlab, ta nhận được đáp ứng như Hình 11.
- Ta khảo sát sự thay đổi các đại lượng vật lý trong buồng khi thay đổi điểm đặt ΔT_d và xét ảnh hưởng của nhiễu ΔW_{a1} và ΔW_{bh} .

2.4.3. Kết quả mô phỏng

a. Đáp ứng theo lượng đặt nhiệt độ điểm sương

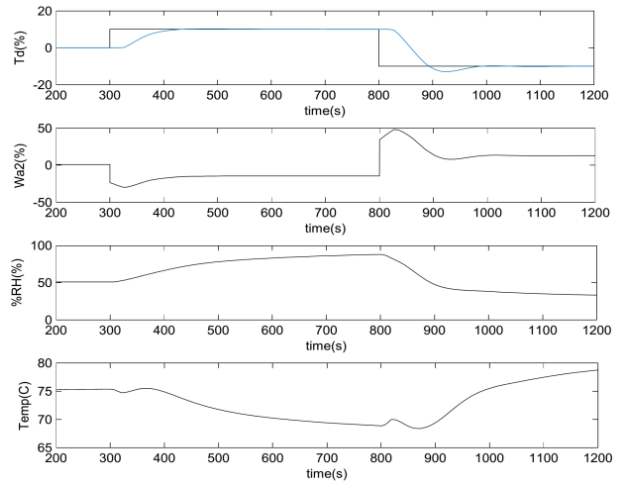
Trên Hình 11 biểu diễn các đáp ứng, cụ thể: Khi thay đổi lượng đặt ΔT_d , ta có các đại lượng vật lý trong hệ biến đổi theo dạng đồ thị trên Hình 11. Trong đó: Đồ thị 1 là thay đổi lượng đặt nhiệt độ điểm sương (%), đồ thị 2 là đáp ứng của lưu lượng gió hút W_{a2} , đồ thị 3 tương ứng biến thiên của độ ẩm và đồ thị 4 là nhiệt độ trong buồng.

Nhận xét:

Khi tăng lượng đặt của nhiệt độ điểm sương, do khả năng bay hơi của nước từ giấy giảm dần đến nhiệt độ bên trong buồng sấy giảm theo, và ngược lại.

Khi giảm lượng đặt cho nhiệt độ điểm sương, Quạt W_{a2} tăng công suất để đưa nhiều hơi nước ra bên ngoài, độ ẩm của không khí trong buồng giảm xuống và ngược lại.

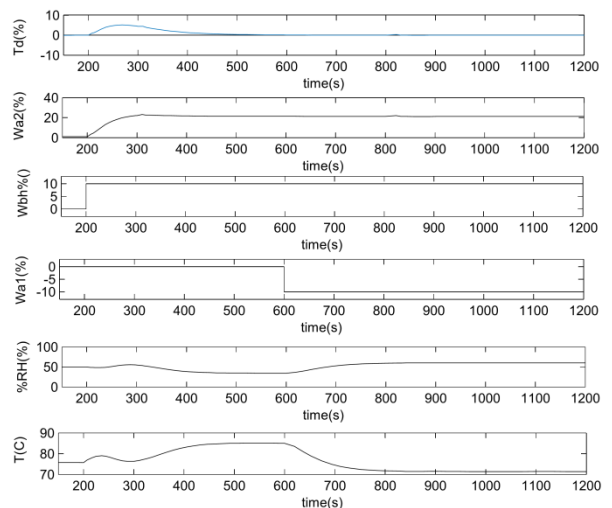
Đáp ứng phù hợp với thực tế vận hành trong nhà máy.



Hình 11. Đồ thị đáp ứng với thay đổi lượng đặt

b. Đáp ứng với nhiễu ΔW_{a1} và ΔW_{bh} .

Ta khảo sát đáp ứng của các nhiễu ΔW_{a1} , ΔW_{bh} như Hình 12.



Hình 12. Đồ thị đáp ứng với nhiễu ΔW_{a1} và ΔW_{bh}
Đồ thị 1 là nhiệt độ điểm sương tính đơn vị %;

Đồ thị 2 là $\Delta W_{a2}(\%)$;

Đồ thị 3 là $\Delta W_{bh}(\%)$ (Tác động vào thời điểm $t=200$);

Đồ thị 4 là $\Delta W_{a1}(\%)$ (Tác động vào thời điểm $t=600$);

Đồ thị 5 là %RH;

Đồ thị 6 là T ($^{\circ}\text{C}$).

Nhận xét:

Khi giảm W_{a1} xuống thì nhiệt độ trong buồng giảm dần đến độ ẩm tương đối của không khí trong buồng tăng lên theo, nên nhiệt độ điểm sương trong buồng thay đổi rất ít.

Khi tăng W_{bh} , độ ẩm trong buồng (đồ thị 5) tăng lên, nhiệt độ điểm sương cũng tăng theo. Để đảm bảo cân bằng khí vào - ra trong buồng sấy, bộ điều khiển tác động W_{a1} tăng lên làm tăng nhiệt độ trong buồng. Bộ điều khiển tác động W_{a2} tăng lên làm giảm độ ẩm không khí trong buồng, do đó nhiệt độ điểm sương cũng giảm theo.

3. Kết luận

-Bài báo đã xây dựng được động học nhiệt độ điểm sương trong buồng sấy giấy.

-Xét ảnh hưởng của lưu lượng nước bay hơi, lưu lượng gió nóng thổi vào buồng và nhiệt độ trong buồng sấy, tới nhiệt độ điểm sương.

- Thiết lập cấu trúc điều khiển và mô phỏng điều khiển quá trình nhiệt độ điểm sương, đáp ứng thu được phù hợp với thực tế vận hành tại nhà máy.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Forbes marshall – hood and pv system of Bai Bang Paper – Viet Nam, 2013.
- [2] Trần Kim Quyên, Bùi Quốc Khánh, Lê Khắc Trường, Động học quá trình sấy giấy đối lưu, Hội Tự động hóa Việt Nam, *Tạp chí Tự động hóa ngày nay, chuyên san Điều khiển và Tự động hóa số 11, tháng 12 năm 2014*, pp 58-63.
- [3] Trần Kim Quyên, Lê Khắc Trường, Phạm Văn Tuynh, “Động học quá trình cân bằng gió -Zerolevel trong buồng sấy giấy”, Hội Tự động hóa Việt Nam, *Tạp chí Tự động hoá ngày nay, chuyên san Điều khiển và Tự động hoá số 12, tháng 4/2015*, pp 36-41.
- [4] Taylor & Francis Group, LLC. - Handbook of Industrial Drying-P82, 2006.
- [5] Công ty Giấy Bãi Bằng, Tài liệu kỹ thuật xí nghiệp bảo dưỡng, (2014).

(BBT nhận bài:15/07/2015; phản biện xong: 25/07/2015)