Tạp chí
ISSN 0868-3336
NĂNG LƯỢNG NHIỆT
THERMAL ENERGY REVIEW
Số: 155 - Tháng 01/2021
Trang 12 - 17

XÂY DỰNG BỘ ĐIỀU KHIỂN TÁCH KÊNH ĐIỀU KHIỂN NHIỆT ĐỘ - ĐỘ ẨM CHO BUỒNG LÊN MEN

Lê Kiều Hiệp, Nguyễn Văn Thông - Viện KH và CN Nhiệt Lạnh, ĐH Bách khoa Hà Nội
Email: hiep.lekieu@hust.edu.vn

Ngày nhận bài: 06/11/2021 *Ngày nhận bài được sửa theo ý kiến phản biện: 18/01/2021*
Ngày bài được duyệt đăng: 25/01/2021

Nhiệt độ và độ ẩm tương đối của không khí là hai trong số những yêu cầu kỹ thuật của một số quá trình sản xuất, chế biến thực phẩm. Tuy nhiên, việc điều khiển chính xác hai thông số này bằng cách sử dụng các vòng điều khiển độc lập rất khó đạt được. Trong bài báo này, chúng tôi đề xuất một phương pháp nhận dạng đối tượng điều khiển nhiệt độ, độ ẩm tương đối cho buồng lên men thực phẩm trong điều kiện không thể tiến hành nghiên cứu thực nghiệm do quá trình sản xuất là liên tục. Một mô hình mô phỏng CFD đã được sử dụng để xây dựng đặc tính quá độ của các đối tượng điều khiển. Qua đó, mô hình hàm truyền của đối tượng điều khiển nhiệt độ, độ ẩm tương đối và các ảnh hưởng chéo giữa hai thông số này đã được xác định. Các kết quả mô phỏng trên phần mềm Matlab - Simulink đã cho thấy bộ điều khiển nhiệt độ - độ ẩm tách kênh chỉ hoạt động tốt khi sử dụng thêm các mạch bù ảnh hưởng chéo.

Từ khóa: Điều khiển tách kênh; mô phỏng CFD; điều khiển nhiệt độ - độ ẩm.

CÁC KÝ HIỆU

B(s): Hàm truyền của mạch bù
I_1: Tích phân sai số tuyệt đối
I_2: Tích phân bình phương sai số
O(s): Hàm truyền của đối tượng
R(s): Hàm truyền của bộ điều khiển
s: Biến số phức
t: Nhiệt độ, °C
δ: Độ quá điều chỉnh, %
Θ_c: Hằng số quán tính
ε: Tín hiệu đầu vào
τ: Thời gian, giây
φ: Độ ẩm tương đối, %

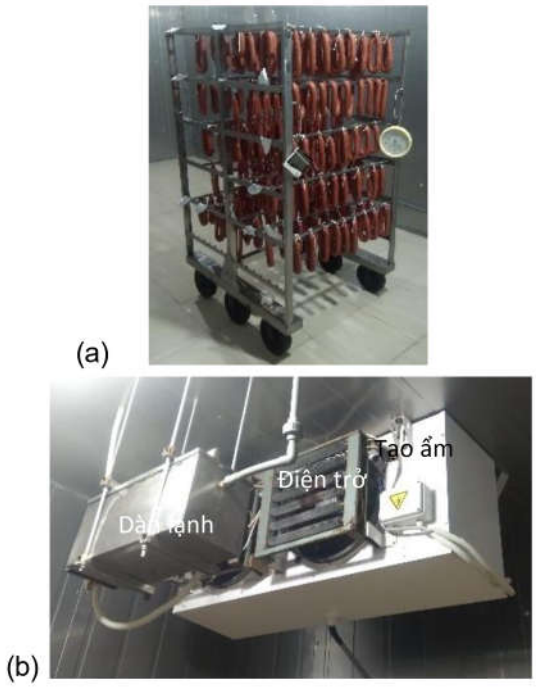
1. TỔNG QUAN

Cùng với sự phát triển của nền kinh tế, công nghệ chế biến các sản phẩm nông nghiệp chất lượng cao đã và đang được chú trọng nghiên cứu phát triển trong thời gian gần đây. Trong công nghệ chế biến lên men các sản phẩm thịt, chất lượng sản phẩm phụ thuộc rất lớn vào việc duy trì ổn định giá trị nhiệt độ và độ ẩm theo yêu cầu công nghệ. Trong giai đoạn đầu của quá trình lên men, nhiệt độ và độ ẩm được duy trì ở mức cao (nhiệt độ lớn hơn 23^0C và độ ẩm lớn hơn 90%). Trong giai đoạn tiếp theo, nhiệt độ và độ ẩm buồng lên men được giảm dần. Đến cuối quá trình lên men, nhiệt độ và độ ẩm được duy trì ở mức xấp xỉ 10^0C ÷ 15^0C và 50% ÷ 60%. Việc điều khiển chính xác đồng thời hai yếu tố nhiệt độ và độ ẩm là yêu cầu cấp thiết của thực tế sản xuất.

Đối tượng điều khiển nhiệt độ - độ ẩm là đối tượng phức tạp hai chiều có sự ảnh hưởng chéo [1]. Có rất nhiều thuật toán điều khiển đã được áp dụng cho bài toán điều khiển nhiệt độ - độ ẩm như điều khiển mờ, mạng nơ ron, điều khiển dự báo [2,3]. Bài báo này sẽ trình bày khả năng ứng dụng bộ điều khiển tách kênh được tổng hợp dựa trên chỉ số dao động mềmcho hệ thống buồng lên men.

2. ĐỐI TƯỢNG NGHIÊN CỨU

Đối tượng nghiên cứu của bài báo này là buồng lên men sử dụng để sản xuất mặt hàng xúc xích salami. Buồng lên men được lắp ghép từ các panel xốp PU có chiều dày 100mm, hai mặt được bọc inox để đảm bảo vệ sinh. Để thay đổi nhiệt độ, độ ẩm bên trong buồng lên men, người ta lắp đặt 01 dàn lạnh có công suất 5 kW lạnh (công suất nhiệt hiện xấp xỉ 3,8 kW, công suất nhiệt ẩn 1,2 kW theo thông số của nhà sản xuất), 01 bộ điện trở công suất 4 kW và 01 hệ thống phun ẩm sử dụng nguyên lý phun hơi nước bão hòa công suất điện trở đun nước là 4,5 kW, công suất sinh hơi bão hòa xấp xỉ 6,5 kg/h.

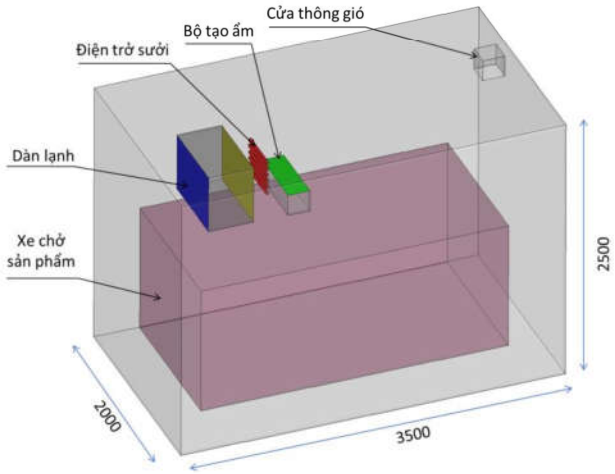


Hình 1. Sản phẩm thịt lên men (a) và hệ thống làm lạnh, gia nhiệt, tạo ẩm cho buồng lên men (b).

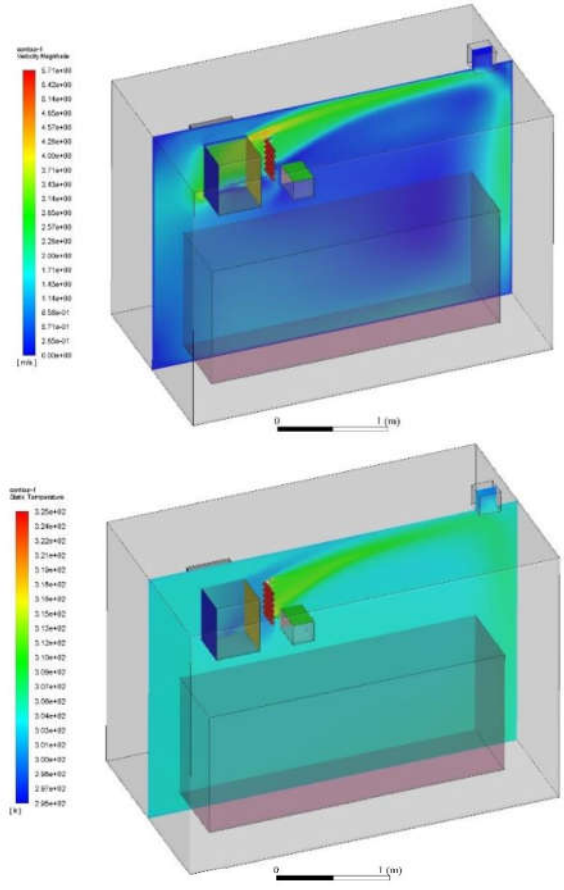
1. BỘ ĐIỀU KHIỂN NHIỆT ĐỘ - ĐỘ ẨM

Thông thường, hàm truyền của đối tượng được xác định bằng phương pháp thực nghiệm hoặc phương pháp giải tích. Tuy nhiên, đối với trường hợp phức tạp, phương pháp giải tích thường rất khó áp dụng do bài toán có nhiều chiều, nhiều biến số và có độ phi tuyến cao. Bên cạnh đó, do đặc trưng của quá trình sản xuất là vận hành liên tục, mô hình của đối tượng điều khiển không thể được lấy từ số liệu thực nghiệm thu được khi thay đổi công suất gia nhiệt hoặc phun ẩm. Vì vậy, để xây dựng đường đặc tính quá độ của đối tượng nhiệt độ - độ ẩm, nhóm nghiên cứu đề xuất sử dụng công cụ mô phỏng CFD để mô phỏng quá trình trao đổi nhiệt ẩm bên trong buồng lên men, từ đó xây dựng mô hình đối tượng dựa trên các kết quả mô phỏng.

Mô hình mô phỏng CFD được trình bày trong hình 2 với kích thước đúng bằng kích thước của buồng lên men thực tế (cao 2500mm, rộng 2000mm, dài 3500mm). Phía trên trần của buồng lên men có 01 cửa thông gió để tránh trong phòng phát sinh các phản ứng yếm khí, tạo mùi. Cột áp của quạt được cài đặt là 100Pa, mô hình dòng chảy dùng trong mô phỏng là mô hình k - epsilon. Để mô tả quá trình khuếch tán hơi ẩm, mô hình dòng nhiều thành phần Species được sử dụng. Nhiệt độ môi trường bên ngoài là 27^0C, độ chứa hơi của không khí tại vị trí cửa thông gió là 7g hơi/kg không khí khô. Để tiến hành mô phỏng, đối tượng được chia lưới theo các phương pháp và kích thước lưới khác nhau. Khi số phần tử của lưới đạt hơn 800.000 phần tử thì kết quả mô phỏng gần như không thay đổi khi tăng số phần tử. Các kết quả mô phỏng được trình bày trong bài báo này thu được từ lưới có cấu trúc hình hộp với số phần tử là 835.706 phần tử.

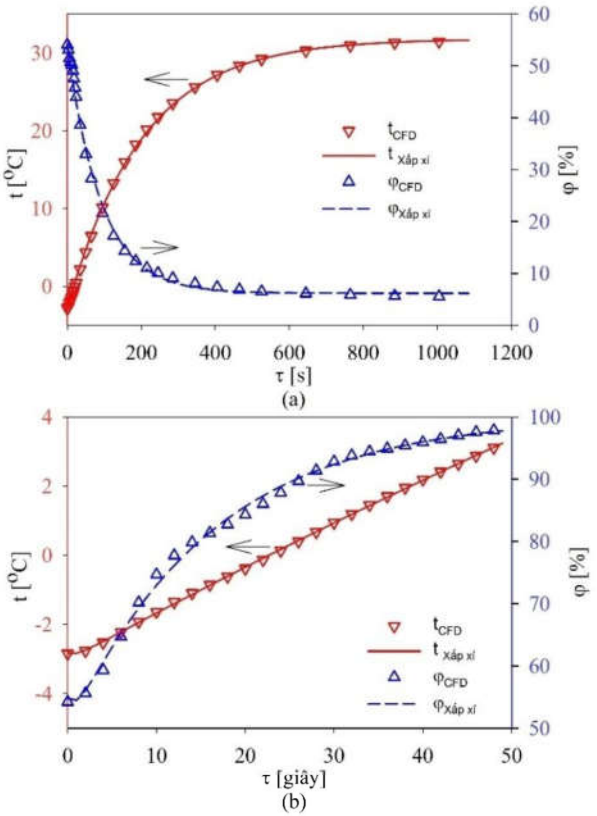


Hình 2. Mô hình mô phỏng CFD buồng lên men (đơn vị đo chiều dài trong hình là mm).



Hình 3. Kết quả mô phỏng trường tốc độ và trường nhiệt độ bên trong buồng lên men khi bật điện trở ở công suất 4 kW và tắt hệ thống phun ẩm ở thời điểm 1000 giây.

Đầu tiên, mô phỏng CFD được tiến hành ở chế độ ổn định với công suất điện trở sưởi là 0 kW và công suất gia ẩm là 0 kg/h. Kết quả cho thấy nhiệt độ và độ ẩm của không khí tại vị trí tâm của xe chở sản phẩm là -2,82^{0}C và 54,83%. Sau khi thu được kết quả ở chế độ ổn định ban đầu, mô phỏng CFD được chuyển sang chế độ không ổn định. Để tìm đặc tính quá độ và hàm truyền của đối tượng với xung đầu vào bậc thang, ta thay đổi lần lượt công suất điện trở sưởi từ mức 0kW lên 4kW và công suất gia ẩm từ 0kg/h lên 6,5kg/h. Trường tốc độ gió và trường nhiệt độ ở chế độ không ổn định khi cài đặtcông suất điện trở sưởi là 4.000W, công suất gia ẩm là 0kg/h tại thời điểm 1.000 giây được cho trong hình 3.



Hình 4. Đặc tính thay đổi của nhiệt độ và độ ẩm khi thay đổi công suất điện trở sưởi từ 0 lên 100% (a) và khi thay đổi công suất phun ẩm từ 0 lên 100% (b).

Ở chế độ quá độ khi công suất điện trở sưởi thay đổi từ mức 0 kW lên mức 4 kW theo xung bậc thang trình bày trong hình (4.a), ta có thể nhận thấy nhiệt độ thay đổi từ mức -2,82^{0}C lên đến nhiệt độ 31,47^{0}C sau khoảng 1.000 giây. Đồng thời với sự tăng nhiệt độ, do sự phụ thuộc của áp suất hơi nước bão hòa vào nhiệt độ, độ ẩm tương đối của không khí giảm từ mức 54,83% xuống còn 5,52%. Tương tự, ở chế độ thay đổi công suất gia ẩm từ 0kg/h lên 6,5kg/h, giá trị độ ẩm tăng từ 54,83% lên đến giá trị 97,88% sau 50 giây (hình 4.b). Do quá trình tăng ẩm được thực hiện nhờ việc cấp hơi nước bão hòa ở 100^{0}C, nhiệt độ không khí trong buồng tại vị trí tâm của xe chở sản phẩm cũng sẽ tăng dần theo thời gian (từ -2,82^{0}C lên 3,36^{0}C). Điều này cho thấy việc thay đổi giá trị nhiệt độ hoặc độ ẩm tương đối sẽ gây ra ảnh hưởng chéo đến giá trị còn lại, hoàn toàn phù hợp với các kết luận đã được nêu ra trong các nghiên cứu trước đây [1, 4, 5]. Để mô tả sự ảnh hưởng chéo này, sơ đồ cấu trúc đối tượng nhiệt độ - độ ẩm trong hình 5 được sử dụng. Trong sơ đồ này, $O_{11}(s)$ và $O_{22}(s)$ lần lượt là hàm truyền của đối tượng nhiệt độ và độ ẩm. $O_{12}(s)$ và $O_{21}(s)$ là hàm truyền của sự ảnh hưởng chéo qua lại giữa nhiệt độ và độ ẩm.

Sử dụng phương pháp bình phương tối thiểu và mô hình đối tượng dạng khâu quán tính bậc 1 và khâu quán tính bậc 2 có trễ, hàm truyền của các đối tượng được thể hiện như sau:

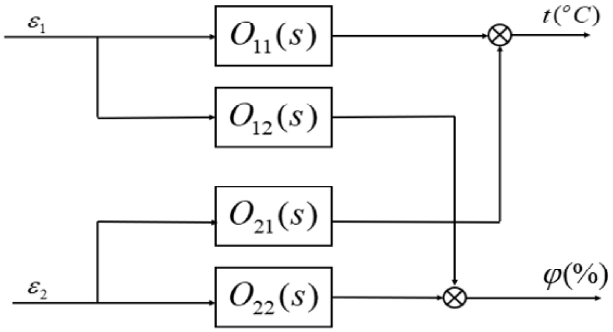
$$O_{11}(s) = \frac{34,65}{1+202,2s} \quad (1)$$

$$O_{12}(s) = \frac{-0,4789}{1+91,41s} \quad (2)$$

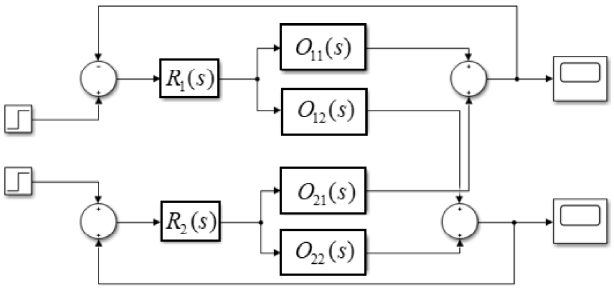
$$O_{22}(s) = \frac{0,4592e^{-0,577s}}{(1+16s)(1+1,006s)} \quad (3)$$

$$O_{21}(s) = \frac{38,24e^{-0,4789s}}{(1+274,4s)(1+0,9636s)} \quad (4)$$

Kết quả xấp xỉ đối tượng nhiệt độ - độ ẩm được so sánh với kết quả mô phỏng CFD như trong hình 4. Sự tương đồng giữa số liệu mô phỏng và số liệu đặc tính quá độ tính theo các hàm truyền (phương trình 1 - 4) cho thấy sự chính xác của việc lựa chọn khâu và các tham số của khâu.



Hình 5. Sơ đồ cấu trúc của đối tượng nhiệt độ - độ ẩm.



Hình 6. Sơ đồ điều khiển 1 vòng đối tượng nhiệt độ - độ ẩm.

Với các khâu của đối tượng nhiệt độ - độ ẩm đã lựa chọn, sơ đồ điều khiển một vòng đồng thời đối tượng nhiệt độ - độ ẩm được lựa chọn như trong hình 6. Đối với bộ điều khiển 1 vòng có phản hồi, bộ điều khiển được tổng hợp dựa theo công thức 5 và 6 [6,7].

$$R(s) = \frac{1}{\theta_c \tau s} O_{PT}(s)^{-1} = \frac{A(s)}{\theta_c \tau s B(s)} \quad (5)$$

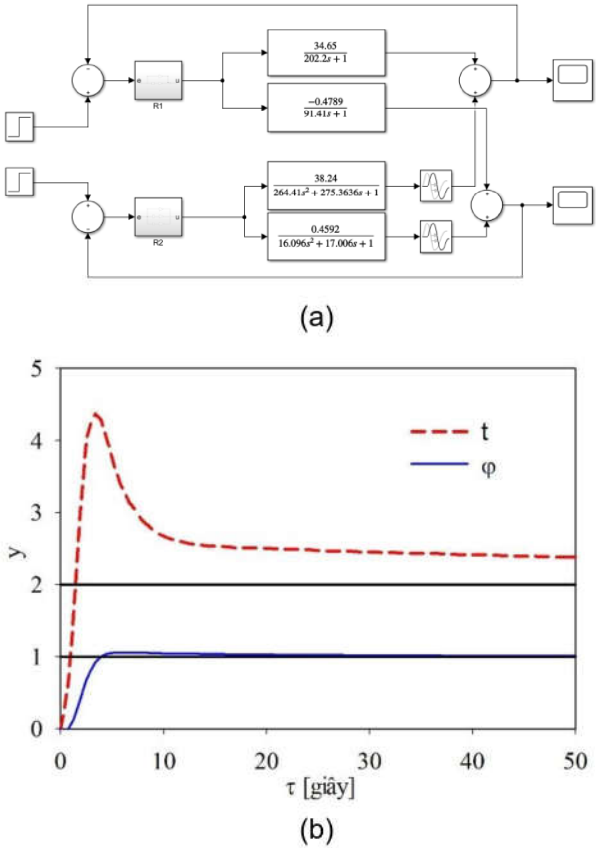
$$R(s) = \frac{1}{\theta_c s} O_{PT}(s)^{-1} = \frac{A(s)}{\theta_c s B(s)} \quad (6)$$

Trong đó, công thức 5 và 6 tương ứng được sử dụng để tổng hợp bộ điều khiển cho khâu quán tínhcó trễ và không có trễ. $O_{PT}(s)$ là thành phần phân thức của khâu, bỏ qua thành phần trễ biểu diễn theo hàm exp. θ_c là hằng số quán tính của hệ định chuẩn, tham số này được xác định dựa theo yêu cầu chất lượng điều khiển: độ quá điều chỉnh δ, thời gian điều chỉnh τ_q, tích phân sai số tuyệt đối I_1 và tích phân bình phương sai số I_2 [8]. Trong bài báo này, độ quá điều chỉnh được được lựa chọn là δ = 0,1%, tương ứng, giá trị hằng số quán tính θ_c tương ứng sẽ là 2.476. Dựa theo mô hình khâu quán tính bậc 1 và khâu quán tính bậc 2 có trễ ở phương trình 1 - 4, bộ điều khiển kênh nhiệt độ R_1 và kênh độ ẩm R_2 tổng hợp được như sau:

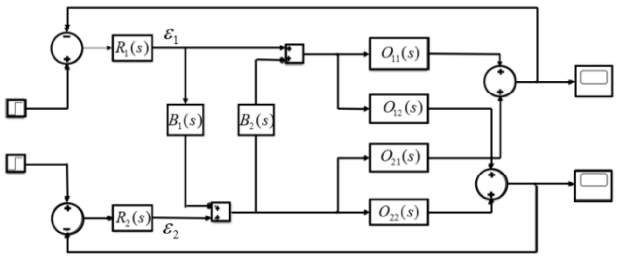
$$R_1(s) = 2,352.(1 + \frac{1}{202,2s}) \quad (7)$$

$$R_2(s) = 25,87(1 + \frac{1}{17,01s} + 0,947s) \quad (8)$$

Để kiểm tra chất lượng của bộ điều khiển, mô hình đối tượng và bộ điều khiển được mô phỏng trên phần mềm Matlab - Simulink như trong hình 7a. Kết quả mô phỏng khi tạo xung bậc thang 2 x 1(t) ở đầu vào kênh điều khiển nhiệt độ và xung bậc thang 1(t) ở đầu vào kênh độ ẩm được thể hiện trên hình 7b. Từ kết quả thu được, giá trị kênh độ ẩm đã vượt quá giá trị đặt 5,76% tại thời điểm 6,6 giây sau đó bão hòa ở giá trị đặt. Tuy nhiên, giá trị kênh nhiệt độ, do sự cấp nhiệt của hơi nước bão hòa,bị vượt quá giá trị đặt xấp xỉ 220% tại thời điểm 6 giây và không thể quay về giá trị đặt sau 50 giây. Điều này cho thấy kênh nhiệt độ không thể điều chỉnh được do ảnh hưởng của kênh độ ẩm.



Hình 7: Mô hình mô phỏng bộ điều khiển và đối tượng nhiệt độ - độ ẩm trên phần mềm Matlab – Simulink (a) và đáp ứng của hệ thống khi điều khiển đồng thời nhiệt độ và độ ẩm (b).



Hình 8: Sơ đồ điều khiển đồng thời nhiệt độ - độ ẩm có mạch bù.

Để nâng cao chất lượng điều khiển, ta sử dụng bộ điều khiển có mạch bù theo sơ đồ trên hình 8. Trong sơ đồ này, mạch bù $B_1(s)$ được xác định theo công thức:

$$\varepsilon_1 B_1(s) O_{22}(s) + \varepsilon_1 O_{12}(s) = 0 \quad (9)$$

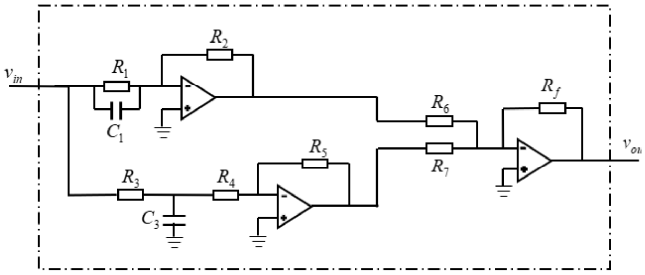
$$\rightarrow B_1(s) = -\frac{O_{12}(s)}{O_{22}(s)}$$

$$B_1(s) = \frac{7,708s^2 + 8,144s + 0,4789}{41,975s + 0,4592}.e^{0,577s} \quad (10)$$

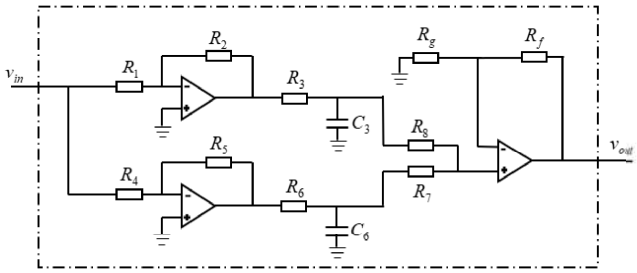
Hoàn toàn tương tự, ta xác định được hàm truyền của mạch bù $B_2(s)$

$$B_2(s) = \frac{-223,03s - 1,103}{264,41s^2 + 275,36s + 1}.e^{-0,4789s} \quad (11)$$

(a)



(b)



Hình 9: Sơ đồ nguyên lý mạch bù B_1 (a) và B_2 (b) loại bỏ ảnh hưởng chéo giữa kênh nhiệt độ và kênh độ ẩm.

Với các hàm truyền trên, mạch bù của hệ thống được thiết kế như trong hình 9, mô hình mô phỏng của bộ điều khiển và đối tượng khi sử dụng khâu bù được cho trong hình 10.Các giá trị điện trở và điện dung của tụ điện của mạch bù $B_1(s)$ cần thỏa mãn:

$$\frac{R_2}{R_1} = 0,192; \qquad \frac{R_5}{R_4} = 0,85;$$

$$R_6 = R_7 = R_f;$$

$$R_3 C_3 = 91,41 \ (\Omega F);$$

$$R_1 C_1 = 0,1836 \ (\Omega F).$$

Tương tự, với sơ đồ mạch bù khâu $B_2(s)$,

$$\frac{R_2}{R_1} = 0,812;$$

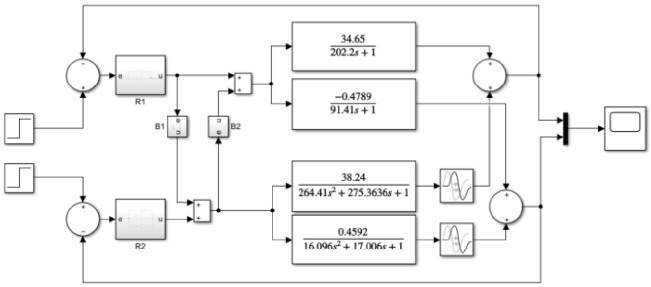
$$\frac{R_5}{R_4} = 0,303;$$

$$R_3 C_3 = 0,964 \ (\Omega F);$$

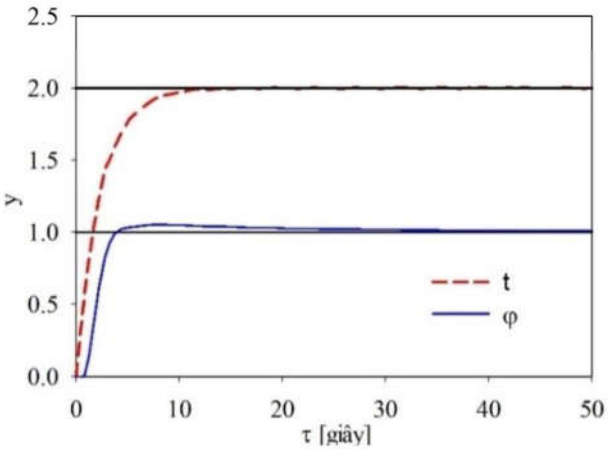
$$R_6 C_6 = 277,78 \ (\Omega F);$$

$$R_7 = R_8 = R_g = R_f.$$

(a)



(b)



Hình 10. Mô hình mô phỏng bộ điều khiển và đối tượng nhiệt độ - độ ẩm trên phần mềm Matlab - Simulink (a) khi có mạch bù và đáp ứng của hệ thống khi điều khiển đồng thời nhiệt độ và độ ẩm (b).

Tương tự như đối với bộ điều khiển không có khâu bù, kết quả mô phỏng khi tạo xung bậc thang 2 × 1(t) ở đầu vào kênh điều khiển nhiệt độ và xung bậc thang 1(t) ở đầu vào kênh độ ẩm được thể hiện trên hình 10(a). Quan sát kết quả thu được, cả giá trị nhiệt độ và độ ẩm nhanh chóng đạt tới giá trị đặt 20 giây và độ vượt điều chỉnh 0.21% (kênh nhiệt độ) và 0.59% (kênh độ ẩm). Điều này cho thấy kênh nhiệt độ và kênh độ ẩm tương đối hoàn toàn có thể điều khiển đồng thời, chính xác bằng cách sử dụng mạch bù.

5. KẾT LUẬN

Bài báo đã trình bày một phương pháp nhận dạng đối tượng nhiệt độ - độ ẩm tương đối của không khí trong buồng lên men và xây dựng bộ điều khiển tách kênh cho hai đối tượng này. Với việc sử dụng mô hình mô phỏng CFD, quá trình can thiệp thực nghiệm trên đối tượng có thể được giảm thiểu, đặc biệt là trong những trường hợp hệ thống hoạt động liên tục. Các kết quả nghiên cứu cho thấy ảnh hưởng chéo của hai đối tượng nhiệt độ và độ ẩm là không thể bỏ qua. Sự gia nhiệt do phun hơi nước bão hòa ở 100^0C vào môi trường dẫn tới sự mất kiểm soát ở kênh điều khiển nhiệt độ khi sử dụng các vòng điều khiển độc lập. Do vậy, việc sử dụng mạch bù là cần thiết để giảm thiểu sự ảnh hưởng này. Các kết quả thu được cho thấy bộ điều khiển tách kênh có sử dụng mạch bùhoàn toàn đáp ứng được các yêu cầu về cả độ chính xác, thời gian đáp ứng cho nhu cầu sử dụng thực tiễn trong buồng lên men. Trong tương lai, chúng tôi sẽ ứng dụng bộ điều khiển đã tổng hợp được để điều khiển chế độ nhiệt ẩm của buồng lên men qua đó kiểm chứng các kết quả thu được trong nghiên cứu này.

6. LỜI CẢM ƠN

Nghiên cứu này được tài trợ bởi Bộ Giáo dục và Đào tạo trong đề tài mã số B2021-BKA-12.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. M. Zaheer-uddin, Temperature and humidity control of indoor environmental spaces, Energy and Buildings 19 (1993) 275–284.
2. Nguyễn Thu Hà, Hệ thống điều khiển vi khí hậu trong lồng nuôi dưỡng trẻ sơ sinh, Nghiên cứu khoa học và công nghệ quân sự Số Đặc san ACMEC (2017) 50–157.
3. Nguyễn Thu Hà, Đinh Thị Lan Anh, Xây dựng hệ thống điều khiển và giám sát lồng nuôi dưỡng trẻ sơ sinh bằng smart phone, Nghiên cứu khoa học và công nghệ quân sự Số đặc san tháng 10/2019 (2019) 23–29.
4. X. Lü, Modelling of heat and moisture transfer in buildings, Energy and Buildings 34 (2002) 1045–1054.
5. C.P. Underwood, HVAC Control Systems, Routledge, 2002.
6. D. Cao Trung, A Method Tuning Control System of Thermal Process in Startup Period, MATEC Web of Conferences 54 (2016) 4001.
7. D.C. Trung, N. van Manh, A Tuning Method for Uncertain Processes of Thermal Power Plant Based on the Worst Soft Characteristic, in: 2017 11th Asian Control Conference (ASCC), IEEE, 12/17/2017 - 12/20/2017, p. 594.
8. Nguyen Van Manh, Robust synthesizing method of uncertainty control system, The fifth Vietnamese national conference of Automation Vol. 5 (2002) 155–161.

SYNTHESIZING TEMPERATURE – RELATIVE HUMIDITY SEPARATE CONTROLLER FOR FOOD FERMENTATION CHAMBER BASED ON CFD SIMULATION

Le Kieu Hiep, Nguyen Van Thong - ***School of Heat Engineering and Refrigeration, Hanoi University of Science and Technology***

Email: hiep.lekieu@hust.edu.vn

ABSTRACT: *Air temperature and relative humidity are two of the mandatory properties of moist airduring several food processes. However, precise control of these mentioned parameters using independent control loops is rather difficult to be achieved. In this paper, we propose a method of object identification of the temperature and relative humidity for the food fermentation chamber where experiments are impossible to be conducted science the food processing is continuous. CFD simulation model is used to construct the transient properties of the control objects. Thereby, the transfer functions of temperature, humidity, and cross effects between these parameters were determined. The simulation results on Matlab - Simulink software showed that the temperature – relative humidity separate controller only works well when using additional cross-influence compensation circuits.*