

# MÔ HÌNH HÓA PHÒNG ĐOÁN NHIỆT ĐỘ SẢN PHẨM TRỰC TUYẾN TRONG QUÁ TRÌNH TIỆT TRÙNG THỰC PHẨM

Tô Quang Trường<sup>1</sup>, Phan Văn Thom<sup>2</sup> và Võ Tấn Thành<sup>3</sup>

## ABSTRACT

*A data-based mechanistic modeling approach was developed to online predicting of product temperature during heating of canned food. Fish paste and minced meat were used as material for model development. Step input of heating medium from 60 to 115°C was applied while product temperature was recorded by using thermocouples type T. The simplified refined instrument variable (SRIV) algorithm was used as the model parameter identification tool to obtain the best model order and parameters. A first order transfer function from the dynamic response of product temperature from heating medium with high coefficient of determination and low standard error explained the heat exchange in a system. By model compacting, the measured data and the model providing a physically meaningful parameter related to a heat transfer coefficient from heating medium to product could be used for online predicting of product temperature during heat treatment.*

**Keywords:** Modeling, sterilization, thermal processing

**Title:** Data based mechanistic modeling approach for predicting product temperature during sterilization process

## TÓM TẮT

*Mô hình hộp đen có chứa tham số vật lý có ý nghĩa được sử dụng cho việc phòng đoán trực tuyến nhiệt độ sản phẩm từ nhiệt độ môi trường gia nhiệt trong các quá trình chế biến nhiệt độ cao thực phẩm chứa trong bao bì. Thí nghiệm “bước” được thực hiện với nhiệt độ môi trường gia nhiệt được nâng từ 60°C tới 115°C. Nhiệt độ của 2 loại thực phẩm dạng rắn dẫn nhiệt hoàn toàn và sản phẩm dạng rắn dẫn nhiệt không hoàn toàn chứa trong bao bì và môi trường được ghi nhận bằng các cảm biến loại T kết nối với máy tính thông qua bộ chuyển đổi tín hiệu. Thuật toán “simplified refined instrument variable” (SRIV) được lựa chọn cho việc xác định các tham số của mô hình. Kết quả hàm truyền bậc 1 thu nhận từ dữ liệu động nhiệt độ môi trường và sản phẩm trong thời gian xử lý nhiệt có hệ số tương quan cao, sai số thấp được lựa chọn. Đồng dạng hàm truyền, tham số tìm được trong hàm truyền có chứa tham số vật lý liên quan đến hệ số truyền nhiệt bề mặt có khả năng sử dụng trong phòng đoán nhiệt độ sản phẩm trong quá trình gia nhiệt.*

**Từ khóa:** Mô hình hóa, chế biến nhiệt, tiệt trùng

## 1 MỞ ĐẦU

Tiệt trùng thực phẩm bằng nhiệt độ được xem là kỹ thuật bảo quản quan trọng với thực phẩm chứa trong bao bì (Francesco & Vittorio, 2003). Dưới tác dụng của nhiệt độ, vi sinh vật có trong thực phẩm bị tiêu diệt góp phần cho việc kéo dài thời gian bảo quản. Trong quá trình tiệt trùng, nhiệt độ và thời gian là 2 yếu tố cần kiểm soát nhằm bảo đảm thực phẩm đến tay người tiêu dùng an toàn và chất lượng

<sup>1</sup> Trung tâm Quản lý chất lượng Nông – Lâm - Thủy sản vùng 5

<sup>2</sup> Trường Đại Học Tây Đô

<sup>3</sup> Khoa Nông nghiệp và Sinh học Ứng dụng, Trường Đại học Cần Thơ

thực phẩm được duy trì ở mức cao (Ansonrena *et al.*, 2010). Ngoài ra trong quá trình chế biến nhiệt, việc kiểm soát tốt thời gian gia nhiệt sẽ góp phần vào việc sử dụng hiệu quả năng lượng.

Hiện tại có nhiều phương pháp tính toán nhằm tối ưu các quá trình chế biến nhiệt thể hiện qua các nghiên cứu của Ansonrena *et al.* 2010; Miri *et al.* 2008; Guldass *et al.* 2008; Simpson & Teixeira, 2006; Mohammed & Ghanim 2004; Erdogdu *et al.* 1998; Durance *et al.* 1997; Teixeira & Simpson, 1997; Banga *et al.* 1993; Hugo Patino & Julianna, 1985. Các phương pháp tính toán tối ưu được thực hiện dựa trên cơ sở tính toán thời gian chết nhiệt  $F$  ( $F$  value) với 2 phương pháp tính toán phổ biến: phương pháp Bigelow và phương pháp công thức (*phương pháp Ball, Stumbo, ...*). Phương pháp Bigelow tính toán dựa trên việc đo đặc nhiệt độ tại điểm nguội nhất trong thực phẩm khó thực hiện trong sản xuất (*đặc biệt trong trường hợp sản phẩm chuyển động trong thiết bị*), không thể sử dụng cho việc phát triển sản xuất trong các điều kiện nhiệt độ và kích thước hộp khác nhau; Phương pháp công thức được tính toán dựa trên phương trình truyền nhiệt ở trạng thái không ổn định với giả sử nhiệt độ môi trường gia nhiệt bằng hằng số trong quá trình gia nhiệt là không thực tế và không có khả năng sử dụng cho việc phỏng đoán trực tuyến nhiệt độ sản phẩm trong quá trình gia nhiệt.

Sử dụng hàm truyền (*transfer function*) trong quá trình gia nhiệt nhằm phỏng đoán nhiệt độ sản phẩm với các điều kiện nhiệt độ môi trường thay đổi và nhằm tính toán trực tuyến thời gian chết nhiệt được xem là giải pháp hiệu quả trong việc kiểm soát nhiệt độ sản phẩm, an toàn thực phẩm cũng như tiết kiệm năng lượng. Nghiên cứu sử dụng hàm truyền trong quá trình gia nhiệt được mô tả trong các nghiên cứu: Ansonrena *et al.* 2010; Ansonrena & Di Scala, 2010; Marquez *et al.* 2003; Marquez *et al.* 1998; Carlos *et al.* 1998. Các nghiên cứu sử dụng hàm truyền cho các quá trình chế biến nhiệt được thực hiện với các sản phẩm chứa trong bao bì dạng dung dịch, dạng rắn hoặc dung dịch chứa vật thể rắn ở các mức nhiệt độ gia nhiệt khác nhau. Các hàm truyền thu nhận (*dạng liên tục hoặc gián đoạn*) từ trên dữ liệu động học (*time-series*) của nhiệt độ môi trường và sản phẩm trong quá trình gia nhiệt được các tác giả đề nghị sử dụng trong việc phỏng đoán nhiệt độ sản phẩm. Trong tính toán, các tác giả không đề cập đến nhiệt độ ban đầu của vật liệu, đặc biệt các tham số trong hàm truyền “hộp đen” được đề nghị không chứa bất kỳ tham số vật lý có ý nghĩa, nên việc tính toán chỉ dừng lại ở mức phỏng đoán thay đổi nhiệt độ trong quá trình đã kết thúc, không thể sử dụng trong phỏng đoán trực tuyến nhiệt độ sản phẩm từ nhiệt độ môi trường gia nhiệt thay đổi, nhằm tính toán trực tuyến thời gian chết nhiệt ( $F$ -value) giúp kiểm soát quá trình tiệt trùng thực phẩm.

Nghiên cứu được thực hiện nhằm tìm phương pháp phỏng đoán nhiệt độ sản phẩm trực tuyến từ thông tin nhiệt độ môi trường gia nhiệt (*bằng hàm truyền dạng liên tục*) tiến đến có thể tính toán thời gian chết nhiệt  $F$  trực tuyến giúp kiểm soát an toàn (*sản phẩm*) và tiết kiệm năng lượng trong các quá trình chế biến nhiệt.

## 2 PHƯƠNG TIỆN VÀ PHƯƠNG PHÁP THÍ NGHIỆM

### 2.1 Phương tiện

Thí nghiệm được tiến hành với 2 loại vật liệu (đại diện cho 2 hình thức truyền nhiệt): Chả cá biển (thành phần protein 23%, ẩm 75%) đồng nhất về cấu trúc (dạng

rắn trong quá trình gia nhiệt không có biến đổi trạng thái có thể xem quá trình truyền nhiệt do dẫn nhiệt); thịt heo (thành phần chất béo 7%, protein 19%, ẩm 73%) nghiền thô bằng máy xay thịt có kích thước lỗ lưới 5 mm (trong quá trình gia nhiệt bao gồm dẫn nhiệt và đối lưu nhiệt do chất béo tan chảy tạo đối lưu trong bao bì trong quá trình gia nhiệt). Các bao bì hình trụ có kích thước 105x212, 200x212 và 307x212 (Hình 1 (a)) được sử dụng trong nghiên cứu.

Nguyên liệu cho vào bao bì và được ghép mí sau đó cho vào thiết bị tiệt trùng có thể tích 18 L và được gia nhiệt bằng điện trở có công suất 2 kW (Hình 1 (b)). Nhiệt độ môi trường gia nhiệt (hơi nước) được điều khiển thông qua hệ thống điều khiển PID. Nhiệt độ môi trường gia nhiệt và nhiệt độ trung tâm sản phẩm được ghi nhận bằng các cảm biến nhiệt độ loại T (Labfacility) với độ chính xác 0,01°C được kết nối và chuyển tín hiệu đến máy tính thông qua analog Keithley 2700 (22 bit, có khả năng ghi nhận 40 kênh riêng biệt), với khoảng cách giữa 2 lần ghi là 10 s.

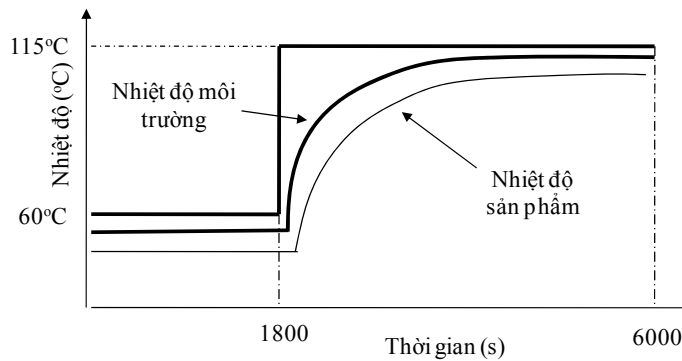


Hình 1: Kích thước bao bì (a) và hệ thống tiệt trùng (b) sử dụng trong thí nghiệm

## 2.2 Phương pháp nghiên cứu

### 2.2.1 Chuẩn bị dữ liệu

Để thu nhận nhiệt độ thay đổi theo thời gian cho quá trình mô hình hóa, thí nghiệm “bước” được thực hiện với nhiệt độ môi trường gia nhiệt thay đổi từ 60°C tới 115°C với thời gian 1800 s ở trạng thái ổn định và 4200 s trong giai đoạn nâng nhiệt (Hình 2). Dữ liệu từ sự thay đổi nhiệt độ sản phẩm theo biên thiên nhiệt độ môi trường được sử dụng cho quá trình mô hình hóa.



Hình 2: Thay đổi nhiệt độ của môi trường và sản phẩm trong quá trình thực hiện thí nghiệm “bước”

2.2.2 Mô hình hộp đen có chứa tham số vật lý có ý nghĩa

Khái niệm mô hình hộp đen có ý nghĩa vật lý DBM (*Data based mechanistic modeling*) lần đầu tiên được Young và Lees đề cập năm 1992 (Young, 2002). Là mô hình hộp đen thu nhận từ dữ liệu động học của quá trình khảo sát nào đó và chỉ được xem là có khả năng sử dụng khi tìm được ít nhất một tham số có ý nghĩa vật lý trong mô hình. Quá trình tính toán được thực hiện theo 2 giai đoạn được mô tả ở hình 3. (1) Tìm hàm truyền thực tế từ dữ liệu thực nghiệm; (2) Tìm hàm truyền lý thuyết từ việc chuyển đổi các phương trình truyền nhiệt cơ bản. Sau cùng, đồng dạng 2 hàm truyền thực tế và lý thuyết và tìm kiếm tham số có ý nghĩa vật lý trong mô hình.

Hàm truyền thực tế:

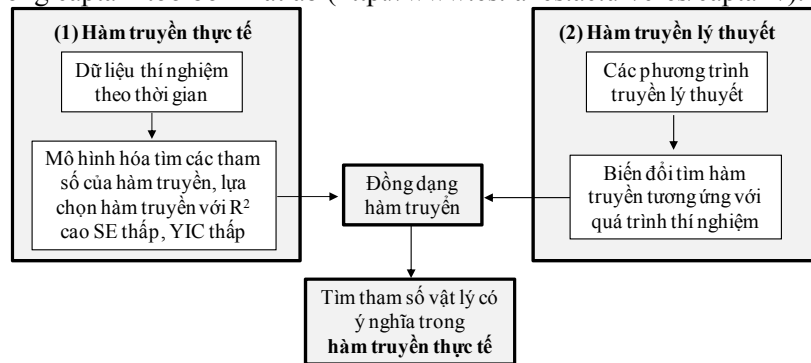
Dữ liệu biến đổi nhiệt độ theo thời gian trong quá trình thí nghiệm (*nhiệt độ môi trường và sản phẩm*) được sử dụng cho việc tìm các tham số chứa trong hàm truyền.

Hàm truyền cho một dữ liệu thay đổi và một kết quả thu nhận khi dữ liệu thay đổi (*Single Input – Single Output*) có dạng:

$$x(t) = \frac{B(s)}{A(s)}u(t - \tau) \text{ và } y(t) = x(t) + e(t) \text{ hay } y(t) = \frac{B(s)}{A(s)}u(t - \tau) + e(t)$$

Với: A(s) và B(s) là hàm bậc cao chứa  $s = d/dt$ ; e(t): sai số của mô hình;  $\tau$ : thời gian trễ (s); t: thời gian (s); u(t): nguồn tác động; y(t): kết quả thu nhận do nguồn tác động (*có chứa sai số*); x(t): kết quả thu nhận do nguồn tác động (*không chứa sai số*).

Thuật toán Simplified Refined Instrumental Variable (*SRIV*) được lựa chọn sử dụng cho việc tìm kiếm bậc và các tham số chứa trong hàm truyền với ưu điểm: có thể tính toán hàm truyền liên tục từ các dữ liệu không liên tục, các tham số được lựa chọn có khả năng được tối ưu hóa nhằm làm giảm các bậc của hàm truyền và thuật toán SRIV có khả năng tìm các tham số chứa trong mô hình đã biết trước nhờ kỹ thuật mô hình mô hình hóa trực tuyến (Young, 1984). Công cụ SRVIC chứa thuật toán *SRIV* được sử dụng trong việc tìm các tham số của hàm truyền được tích hợp trong *captain toolbox matlab* (<http://www.es.lanacs.ac.uk/cres/captain/>).



Hình 3: Mô hình hộp đen chứa tham số vật lý có ý nghĩa

Hàm truyền tương thích nhất được lựa chọn trên hệ số tương quan R<sup>2</sup> và chỉ số YIC (*Young Critical Identification*). YIC là tham số được tính toán rất phức tạp.

YIC chứa các tham số biểu thị cho mức độ tương thích của phương trình như hệ số tương quan ( $R^2$ ), độ lệch chuẩn và bậc của hàm truyền (Young, 1984). Hàm truyền được lựa chọn theo tiêu chí YIC càng thấp. Việc tìm bậc hàm truyền và các tham số chứa trong hàm truyền từ các dữ liệu thí nghiệm được gọi là hàm truyền thực tế.

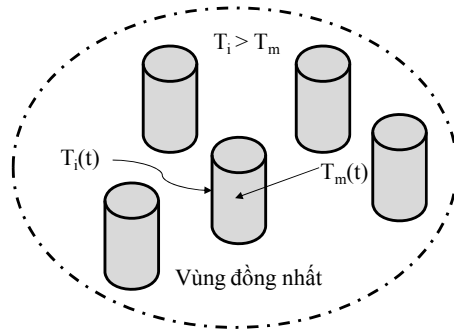
*Hàm truyền lý thuyết:*

Beckmans *et al.* (1992); De Moor & Beckmans (1993) khi nghiên cứu về sự đồng nhất của nhiệt độ không khí trong phòng không có vật thể đã chứng minh. Trong không gian không đồng nhất về nhiệt độ hoàn toàn có thể định nghĩa một vùng đồng nhất xung quanh cảm biến đo đặc nhiệt độ. Độ lớn của vùng đồng nhất được xác định thông qua một khác biệt nhiệt độ ( $\Delta T$ ) ở mức độ có thể chấp nhận.

Ứng dụng trong trường hợp tiệt trùng, với giả sử đồng nhất nhiệt độ sản phẩm chứa trong bao bì với một mức khác biệt nhiệt độ có thể chấp nhận, nhiệt dung riêng và tính chất nhiệt của sản phẩm ít biến đổi theo nhiệt độ.

Phương trình truyền nhiệt từ một vùng đồng nhất nhiệt độ của môi trường đến n hộp trong vùng đồng nhất được thể hiện ở hình 4 và cân bằng nhiệt lượng trong vùng quan sát mô tả theo phương trình (1).

$$n \cdot m \cdot C_p \frac{dT_m(t)}{dt} = n \cdot k_m \cdot S_m (T_i(t - \tau) - T_m(t)) \tag{1}$$



**Hình 4: Biểu diễn quá trình truyền nhiệt từ một vùng môi trường gia nhiệt đến các sản phẩm**

Trong đó,  $m$ : khối lượng của 1 sản phẩm (kg);  $C_p$ : nhiệt dung riêng của sản phẩm ( $J/kg^\circ C$ );  $k_m$ : hệ số truyền nhiệt bề mặt ( $W/m^2^\circ C$ );  $S_m$ : diện tích bề mặt của 1 hộp ( $m^2$ );  $T_i(t)$ : nhiệt độ môi trường theo thời gian ( $^\circ C$ );  $T_m(t)$ : nhiệt độ sản phẩm theo thời gian ( $^\circ C$ );  $\tau$ : thời gian trễ (s);  $n$ : số hộp trong vùng đồng nhất nhiệt độ.

Phương trình (1) có thể được viết lại:

$$\frac{dT_m(t)}{dt} = \frac{k_m \cdot S_m}{m \cdot C_p} (T_i(t - \tau) - T_m(t)) \tag{2}$$

Với quá trình truyền nhiệt ở trạng thái ổn định. Thay đổi nhiệt độ sản phẩm theo thời gian  $\frac{dT_m}{dt}=0$ , tương ứng với nhiệt độ của môi trường  $\bar{T}_i$  và nhiệt độ sản phẩm  $\bar{T}_m$ .

Khi đó phương trình (2) trở thành:

$$0 = \frac{k_m \cdot S_m}{m \cdot C_p} (\bar{T}_i (t - \tau) - \bar{T}_m (t)) \quad (3)$$

Xét nhiệt độ của môi trường và sản phẩm tại thời điểm t của quá trình nâng nhiệt, so sánh với nhiệt độ tương ứng tại trạng thái ổn định ( $\bar{T}_i$  và  $\bar{T}_m$ ):

$$t_i (t - \tau) = \bar{T}_i (t - \tau) - \bar{T}_i (t - \tau) \quad \text{và} \quad t_m (t) = T_m (t) - \bar{T}_m (t)$$

Lấy phương trình (3) trừ phương trình (2), sẽ thu được:

$$\frac{dt_m(t)}{dt} = \frac{k_m \cdot S_m}{m \cdot C_p} (t_i (t - \tau) - t_m(t)) \quad (4)$$

Với tốc độ gia nhiệt (1/s) được định nghĩa  $\alpha = \frac{k_m \cdot S_m}{m \cdot C_p}$

Phương trình (4) được viết lại:

$$\frac{dt_m(t)}{dt} = \alpha \cdot (t_i (t - \tau) - t_m(t)) \quad (5)$$

Sử dụng toán tử Laplace để biểu diễn quá trình sẽ thu được hàm truyền tương ứng: (s = d/dt)

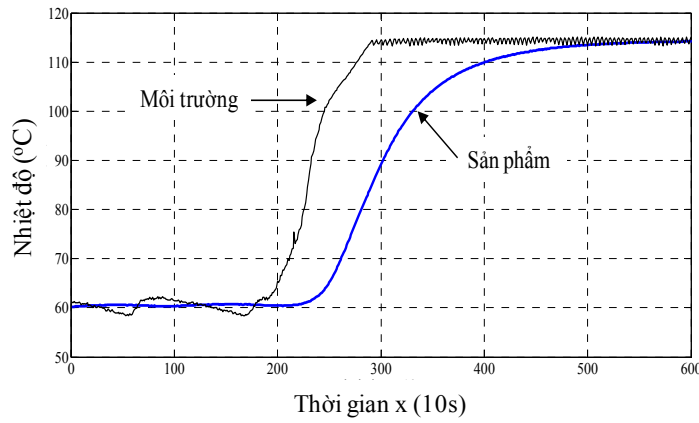
$$t_m(t) = \frac{\alpha}{s + \alpha} t_i (t - \tau) \quad (6)$$

Hàm truyền (Phương trình (6)) thu nhận từ tính toán cân bằng nhiệt trong vùng đồng nhất với các giả sử tương ứng được gọi là hàm truyền lý thuyết.

### 3 KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

#### 3.1 Biểu diễn thay đổi nhiệt độ môi trường và sản phẩm trong quá trình thí nghiệm

Dữ liệu động học thu nhận từ thí nghiệm được thể hiện ở hình 5 như là ví dụ cho thấy thay đổi nhiệt độ của môi trường và sản phẩm khi thực hiện thí nghiệm “bước”. Từ đồ thị có thể thấy, khi nhiệt độ môi trường thay đổi, nhiệt độ sản phẩm cũng thay đổi và tiến đến cân bằng nhiệt độ môi trường tại thời điểm kết thúc thí nghiệm. Thay đổi nhiệt độ môi trường so với nhiệt độ môi trường ở trạng thái ổn định nhiệt độ (từ thời điểm bắt đầu đến 1800 s) và thay đổi nhiệt độ sản phẩm so với nhiệt độ sản phẩm ở trạng thái ổn định nhiệt độ (từ thời điểm bắt đầu đến 1800 s) là thông tin được sử dụng cho việc mô hình hóa.



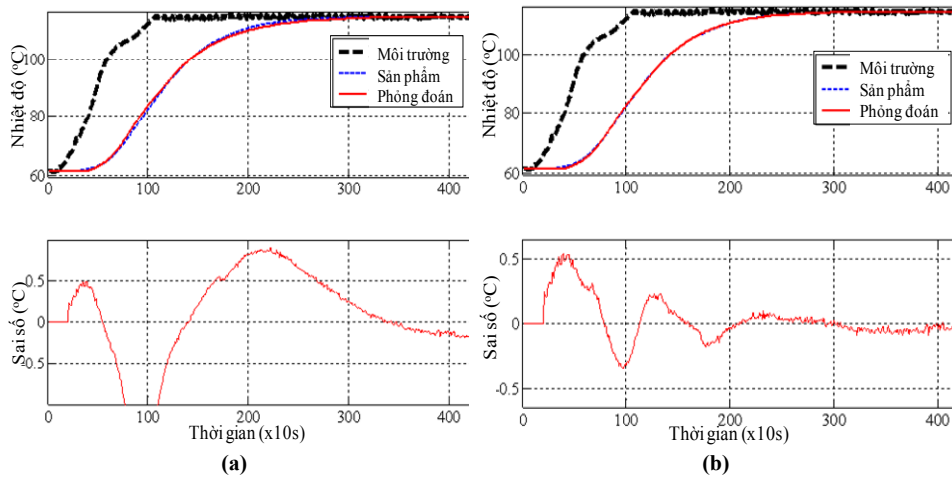
**Hình 5: Ví dụ thay đổi nhiệt độ và thời gian trong quá trình thí nghiệm với thịt nghiền trong bao bì 200x212**

**3.2 Tính toán các tham số trong hàm truyền lý thuyết**

Từ dữ liệu động học, các tham số sử dụng trong đánh giá hàm truyền bậc 1 và 2 tương ứng với nguyên liệu và kích thước bao bì khác nhau được thể hiện ở bảng 1, so sánh sai số hàm truyền bậc 1 và bậc 2 được thể hiện ở hình 6.

Các kết quả cho thấy: hàm truyền bậc 2 luôn có hệ số tương quan  $R^2$  cao và độ lệch chuẩn (SE) thấp cho các trường hợp nguyên liệu và kích thước bao bì khác nhau. Tuy nhiên, khi xét đến YIC, hàm truyền bậc 1 có YIC thấp hơn bậc 2 (việc lựa chọn hàm truyền theo tiêu chí YIC thấp). Chính vì vậy, hàm truyền bậc 1 được lựa chọn (hàm truyền lý thuyết) và được sử dụng cho mục tiêu phỏng đoán nhiệt độ sản phẩm trong quá trình gia nhiệt. Hàm truyền bậc 1 có dạng:

$$t_m(t) = \frac{b_0}{s + a_1} t_i(t - \tau) \tag{7}$$



**Hình 6: So sánh (a) bậc 1 và (b) bậc 2 với chả cá trong bao bì 200x212**

**Bảng 1: Các tham số trong hàm truyền thực tế từ thí nghiệm**

Nguyên liệu	Kích thước hộp*	Bậc	R <sup>2</sup>	SE**	YIC***
Chả cá	105x212	1	0,9994	0,164	-17,40
	105x212	2	0,9994	0,156	-8,47
	200x212	1	0,9996	0,117	-19,27
	200x212	2	0,9998	0,065	-12,33
	307x212	1	0,9989	0,391	-18,12
	307x212	2	0,9995	0,182	-11,06
Thịt nghiền	105x212	1	0,9995	0,134	-18,32
	105x212	2	0,9997	0,087	-11,15
	200x212	1	0,9998	0,060	-20,75
	200x212	2	0,9999	0,034	-11,71
	307x212	1	0,9992	0,247	-19,29
	307x212	2	0,9996	0,128	-11,92

(\*) Hộp tiêu chuẩn đường kính x chiều cao: ví dụ hộp có kích thước 105x212 có đường kính là  $1.in + \frac{5}{16}.in$  và chiều cao  $2.in + \frac{12}{16}.in$ ;

(\*\*) Sai số chuẩn (standard error); (\*\*\*) Hệ số YIC.

Các tham số trong hàm truyền bậc 1 được tính toán trong thí nghiệm thể hiện ở bảng 2.

**Bảng 2: Tổng kết các tham số hàm truyền bậc 1 trong thí nghiệm**

Nguyên liệu	Kích thước	b <sub>0</sub>	a <sub>1</sub>	Khác biệt (%)	Trung bình
Chả cá	105x212	0,0544	0,0516	5,15	0,0530
	200x212	0,0188	0,0189	0,53	0,0190
	307x212	0,0055	0,0056	1,82	0,0056
Thịt nghiền	105x212	0,0372	0,0361	2,96	0,0370
	200x212	0,0190	0,0199	4,74	0,0190
	307x212	0,0051	0,0051	0	0,0051

**3.3 Tìm tham số vật lý có ý nghĩa trong hàm truyền**

Hàm truyền bậc 1 thu nhận từ thí nghiệm (hàm truyền thực tế) được lựa chọn:

$$t_m(t) = \frac{b_0}{s + a_1} t_i(t - \tau) \text{ và } \underline{\text{hàm truyền lý thuyết}} \text{ được chuyển đổi: } t_m(t) = \frac{\alpha}{s + \alpha} t_i(t - \tau).$$

So sánh 2 hàm truyền lý thuyết và thực tế, các tham số rút ra từ đồng dạng được ghi nhận  $\alpha = a_1 = b_0$ . Các kết quả ở bảng 2 cũng cho thấy không có sự khác biệt



giữa  $b_0$  và  $a_1$  (khác biệt giữa 2 tham số thấp hơn 5%) chứng tỏ sự đồng dạng giữa 2 phương trình ở mức cao.

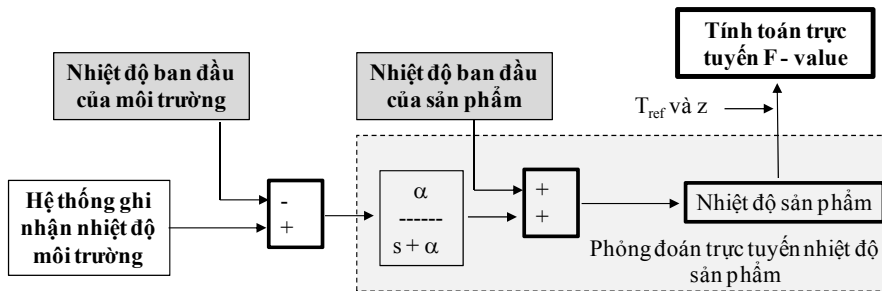
Hệ số  $\alpha$  có thể thu nhận từ thí nghiệm (thông qua việc mô hình hóa tìm các tham số  $b_0$  và  $a_1$  chứa trong hàm truyền bậc 1), hệ số  $\alpha$  có chứa tham số liên quan đến hệ số truyền nhiệt  $k_m$ . Chính vì vậy,  $\alpha$  là tham số vật lý có ý nghĩa chứa trong hàm truyền có khả năng sử dụng trong việc phỏng đoán nhiệt độ sản phẩm trong quá trình gia nhiệt.

Mặt khác, khi so sánh hệ số  $\alpha$  ở các bao bì kích thước khác nhau: giá trị  $\alpha$  giảm dần khi tăng đường kính với cùng một vật liệu, cũng chứng tỏ hệ số  $\alpha$  có chứa hệ số truyền nhiệt bề mặt ( $\alpha$  càng lớn thời gian gia nhiệt càng nhanh trong trường hợp sản phẩm có đường kính nhỏ). Với nguyên liệu khác nhau: chả cá (dẫn nhiệt chiếm ưu thế) và thịt nghiền (có một phần đối lưu nhiệt) hệ số  $\alpha$  thu nhận có khác nhau. Tuy nhiên, sự khác biệt chỉ xảy ra trong trường hợp đường kính hộp nhỏ trong khi đường kính lớn gần như không khác biệt. Trong quá trình gia nhiệt thịt nghiền, sự thay đổi nhanh chóng nhiệt độ sản phẩm (trường hợp đường kính nhỏ) làm chất béo tách ra khỏi sản phẩm tạo những bọt khí dẫn đến tăng trở lực truyền đã làm hệ số  $\alpha$  nhỏ hơn so với trường hợp chả cá (dẫn nhiệt hoàn toàn).

Tóm lại: hệ số  $\alpha$  chứa hệ số truyền nhiệt bề mặt ( $k_m$ ) là tham số thu nhận từ thực tế có khả năng sử dụng cho việc phỏng đoán nhiệt độ của các sản phẩm trong bao bì có kích thước khác nhau trong quá trình chế biến nhiệt.

**3.4 Sử dụng hàm truyền trong việc phỏng đoán nhiệt độ sản phẩm và tính toán thời gian chết nhiệt (F-value)**

Hàm truyền thực tế (phương trình (7)) là phương trình hộp đen có chứa tham số vật lý có ý nghĩa (chứa hệ số truyền nhiệt bề mặt  $k_m$ ). Chính vì vậy, có thể sử dụng hàm truyền bậc 1 để phỏng đoán trực tuyến nhiệt độ sản phẩm trong quá trình gia nhiệt. Việc phỏng đoán trực tuyến nhiệt độ sản phẩm cho phép tính toán trực tuyến thời gian chết nhiệt F của quá trình nếu biết được nhiệt độ ban đầu của môi trường gia nhiệt và sản phẩm, hằng số kháng nhiệt của vi sinh vật ( $z$ ) và nhiệt độ tham chiếu ( $T_{ref}$ ). Sơ đồ phỏng đoán được thể hiện như hình 7.



Hình 7: Sơ đồ tính toán thời gian chết nhiệt (F-value) trực tuyến

**3.5 So sánh phương pháp sử dụng hàm truyền với phương pháp công thức (Ball)**

So sánh tính toán quá trình chế biến nhiệt của 2 phương pháp công thức và hàm truyền thể hiện ở bảng 3.

**Bảng 3: So sánh phương pháp hàm truyền và phương pháp công thức**

Các tiêu chí so sánh	Phương pháp	Phương pháp
	Ball	hàm truyền
Dựa trên cơ sở phương trình truyền nhiệt do dẫn nhiệt	Có	Có
Giả sử đồng nhất nhiệt độ sản phẩm trong quá trình gia nhiệt, các tính chất nhiệt ít thay đổi trong quá trình gia nhiệt	Có	Có
Giả sử đồng nhất nhiệt độ sản phẩm và môi trường trong quá trình gia nhiệt	Có	Có
Tham số tính toán quá trình	$f_h, j_h$	$\alpha$
Tính toán liên quan đến nhiệt độ môi trường gia nhiệt	Có	Có
<b>Giả sử nhiệt độ môi trường gia nhiệt bằng hằng số</b>	<b>Có</b>	<b>Không</b>
<b>Tính toán trực tuyến nhiệt độ sản phẩm và thời gian chết nhiệt</b>	<b>Không</b>	<b>Có</b>

Từ kết quả so sánh có thể thấy phương pháp hàm truyền và phương pháp Ball có chung nguyên tắc khi xây dựng phương pháp tính toán. Tuy nhiên, phương pháp hàm truyền có khả năng phỏng đoán trực tuyến nhiệt độ sản phẩm dựa trên nhiệt độ môi trường dao động trong quá trình gia nhiệt điều này phù hợp với điều kiện sản xuất thực tế và là bước tiên trong việc kiểm soát nhiệt độ sản phẩm trong quá trình gia nhiệt.

#### 4 KẾT LUẬN

Hàm truyền bậc 1 thu nhận từ dữ liệu động học của nhiệt độ môi trường và sản phẩm có khả năng biểu thị cho quá trình truyền với độ chính xác cao được lựa chọn biểu thị cho quá trình truyền. Hàm truyền có chứa tham số vật lý liên quan đến hệ số truyền nhiệt bề mặt, có khả năng sử dụng để phỏng đoán nhiệt độ sản phẩm từ nhiệt độ của môi trường gia nhiệt. Từ đây, việc kiểm soát mức độ an toàn của thực phẩm có thể được thực hiện qua việc phỏng đoán trực tuyến thời gian chết nhiệt  $F$  ( $F$  value). Việc phỏng đoán nhiệt độ sản phẩm từ mô hình có tiên bộ so với các phương pháp hiện tại và phù hợp với điều kiện sản xuất thực tế.

#### TÀI LIỆU THAM KHẢO

- Ansonrena & Di Scala K C (2010) Predicting thermal response of conductivve foods during start-up of process equipment using transfer function. *Journal of Food Process Engineering*. **33**, 168-181.
- Ansonrena M R, Valle C D, Salvadori V O (2010) Application of transfer functions to canned tuna fish thermal processing. *Journal of Food Science Technology International*, **16**(1), 43-51.
- Banga J R, Alonso A A & Gallardo J M (1993) Mathematical modelling and simulation of the thermal processing of anisotropic and non-homogeneous conduction-heated canned foods: Application to canned tuna, *Journal of Food Engineering*. **18**, 369-387.
- Berckmans D, De Moor M & De Moor B (1992) New model concept to control the energy and mass transfer in a three-dimensional imperfectly mixed ventilated space. *Proceedings of Roomvent' 92, Aalborg, Denmark*. **2**, 151-168.
- Carlos A M, Antonio De Michelis, Viviana O S & Mascheroni R H (1998) Application of transfer functions to the thermal processing of particulate foods enclosed in liquid medium. *Journal of Food Engineering*. **38**, 189-205.

- De Moor M & Berckmans D (1993) Analysis of the control of livestock environment by mathematical identification on measured data. Paper No. 93-4574, International Winter Meeting ASAE, Chicago, IL
- Durance T, Dou J & Mazza J (1997) Selection of variable retort temperature processes for canned salmon. *Journal of Food Process Engineering*. **20**, 65-76.
- Erdogdu F, Murat O B & Chau K V (1998) Modeling of heat conduction in elliptical cross section: II. Adaptation to thermal processing of shrimp, *Journal of Food Engineering*. **38**, 241-258.
- Francesco Marra & Vittorio Romano (2003) A mathematical model to study the influence of wireless temperature sensor during assessment of canned food sterilization. *Journal of Food Engineering*. **59**, 245–252.
- Guldás M, Gonenc S & Gurbuz O (2008) A statistical approach to predict the sterilization value for canned olives. *Journal of Food Process Engineering*. **31**, 299-316.
- Hugo Patino & Julianna R Hell (1985) A Statistical approach to error analysis in thermal process calculations. *Journal of Food Science*. **50**(4), 1110-1114.
- Marquez C A, Antonio D M, Viviana O S & Rodolfo H M (1998) Application of transfer functions to the thermal processing of particulate foods enclosed in liquid medium, *Journal of Food Engineering*. **38**, 189-205.
- Marquez C A, Salvadori V O, Mascheroni R H & De Michelis A (2003) Application of Transfer Functions to the Thermal Processing of Sweet and Sour Cherries Preserves: influence of particle and container Sizes. *Journal of Food Science Technology International*. **9**(2), 69–76.
- Miri T, Tsoukalas A, Bakalis S, Pistikopoulos E N, Rustem B & Fryer P J (2008) Global optimization of process conditions in batch thermal sterilization of food. *Journal of Food Engineering*. **87**, 485-494.
- Mohammed Farid, Ghani A G Abdul (2004) A new computational technique for the estimation of sterilization time in canned food. *Journal of Chemical Engineering and Processing*. **43**, 523–531.
- Simpson R, Figueroa I & Teixeira A (2006) Optimum on-line correction of process deviations in batch retorts through simulation. *Journal of Food Control*. **17**, 665-675.
- Teixeira A & Tucker G S (1997) On-line retort control in thermal sterilization of canned foods. *Journal of Food Control*. **8**, 13-20.
- Young P C (1984) *Recursive Estimation and Time-series Analysis*. Springer-Verlag. Berlin, Germany.
- Young P C (2002) Data-based mechanistic and top-down modelling. *Proceedings of the First Biennial Meeting of the International Environmental Modelling and Software Society, iEMSs, Manno, Switzerland, ISBN:88-900787-0-7*.