

# MÔ HÌNH HOÁ QUÁ TRÌNH TRAO ĐỔI NHIỆT ẨM TRONG MÁY ẤP TRỨNG GIA CẦM

## Modeling of heat and mass transfer in chicken egg incubators

Nguyễn Văn Đường<sup>1</sup>

### SUMMARY

The relationships between temperature and humidity of the airflow, temperature and water content of eggs in the incubator are very complicated. However, it can be expressed in terms of mathematical equations by modeling of the process. The present paper introduces a method of modeling the process of heat and mass transfer in the space containing eggs in a non-linear differential model. The model allowed to determine basic parameters of an incubators that are used for analyzing and synthesizing the incubator's control system.

**Key words:** Airflow, water content, modeling, heat and mass transfer, control system.

### 1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Quá trình trao đổi nhiệt ẩm trong máy ấp trứng gia cầm là một quá trình truyền nhiệt và truyền chất phức tạp giữa trứng và dòng khí chuyển động trong các vùng không gian của buồng ấp. Mô hình hoá quá trình trao đổi nhiệt ẩm trong vùng chứa trứng nhằm xác định mối quan hệ toán học của các thông số vật lý trong buồng ấp. Đây là bước quan trọng đầu tiên trong việc nghiên cứu và tổng hợp hệ thống điều khiển quá trình nhiệt ẩm trong máy ấp trứng gia cầm. Bài báo trình bày phương pháp mô hình hoá quá trình trao đổi nhiệt ẩm trong vùng chứa trứng, vùng công nghệ đặc biệt quan trọng và đưa ra mô hình toán học dùng để phân tích và tổng hợp hệ thống điều khiển tự động cho máy ấp trứng gia cầm.

### 2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

Mô hình hoá quá trình trao đổi nhiệt ẩm của một phần tử và một phân tử thể tích trong vùng không gian chứa trứng theo mô hình vi phân riêng.

### 3. KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU

#### 3.1. Quá trình truyền nhiệt truyền ẩm của một phần tử

Hai mô hình được nhiều tác giả sử dụng mô tả quá trình truyền nhiệt, truyền ẩm cho các đối tượng có dạng hình cầu là mô hình khuếch tán và mô hình động học (Haghighi K., Segerlind L.J., 1988).

Mô hình khuếch tán mô tả quá trình truyền nhiệt và truyền ẩm của trứng cả bên trong và bên ngoài trứng. Mô hình được xây dựng dựa trên phương trình truyền nhiệt, truyền chất trong vật thể hình cầu. Bỏ qua gradient áp suất bên trong trứng, mô hình được Luikov (1980) xác định dưới dạng :

$$\begin{aligned}\frac{\partial X}{\partial t} &= \nabla^2 K_{11} X + \nabla^2 K_{12} T_T \\ \frac{\partial T_T}{\partial t} &= \nabla^2 K_{21} X + \nabla^2 K_{22} T_T\end{aligned}\tag{1}$$

với  $X$  và  $T_T$  là hàm lượng nước và nhiệt độ của trứng;  $K_{11}$ ,  $K_{22}$  là các hệ số vận chuyển và  $K_{12}$ ,  $K_{21}$  là các hệ số liên kết;  $\nabla^2$  là toán tử Laplace. Nếu bỏ qua quá trình liên kết với giả thiết nhiệt độ của trứng bằng nhiệt độ dòng khí nhận được phương trình dưới dạng đơn giản:

---

<sup>1</sup> Khoa Cơ điện- Trường ĐHNHI

$$\frac{\partial X}{\partial t} = \nabla^2 K_{11} X \quad (2)$$

$$\frac{\partial T_r}{\partial t} = \nabla^2 K_{22} T_r$$

Trong trường hợp này hệ số  $K_{11}$  là khả năng dẫn ẩm và  $K_{22}$  là khả năng dẫn nhiệt của trứng. Khả năng dẫn ẩm thấp hơn nhiều lần khả năng dẫn nhiệt nên hệ phương trình trên có thể viết dưới dạng một phương trình vi phân tuân theo định luật Fick: 
$$\frac{\partial X}{\partial t} = \nabla^2 \delta_T X \quad (3)$$

Hệ số khuếch tán  $\delta_T$  là một đại lượng phụ thuộc vào cả nhiệt độ và hàm lượng nước trong trứng. Trong điều kiện nhiệt độ không đổi nghiệm của phương trình (3) cho đối tượng dạng hình cầu (Crank J., 1975) có dạng:

$$\frac{X(t) - X^*}{X_o - X^*} = \frac{6}{\pi^2} \sum_1^{\infty} \frac{1}{n^2} \exp\left(-\frac{n^2 \cdot \pi^2 \cdot \delta_T \cdot t}{R^2}\right) \quad (4)$$

trong đó  $X_o$  và  $X^*$  là hàm lượng nước ban đầu và hàm lượng nước cân bằng. Nghiệm của phương trình (3) là một chuỗi hội tụ nhanh nên nghiệm gần đúng có thể lấy với  $n = 1$ :

$$\frac{X(t) - X^*}{X_o - X^*} = \frac{6}{\pi^2} \exp\left(-\frac{\pi^2 \cdot \delta_T \cdot t}{R^2}\right) \quad (5)$$

Hệ số khuếch tán được xác định bằng thực nghiệm.

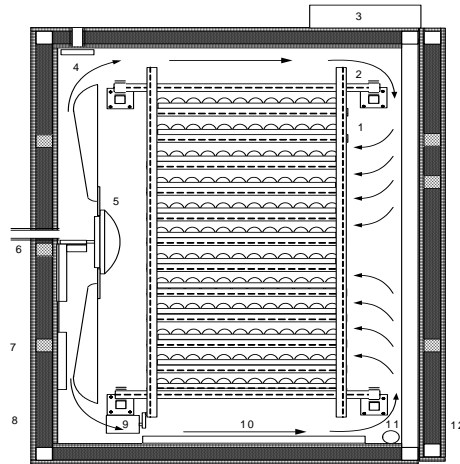
Mô hình thứ hai mô tả quá trình truyền nhiệt và truyền ẩm của trứng là mô hình động học. Khác với mô hình khuếch tán, mô hình này không phân biệt độ dẫn ẩm bên trong và bên ngoài đối tượng mà gộp thành một hệ số dẫn ẩm chung:

$$\frac{\partial X}{\partial t} = K_T (X^* - X) \quad (6)$$

Hai dạng mô hình có độ sai khác nhau không đáng kể. Tuy nhiên mô hình động học thuận lợi hơn trong việc xác định các tham số của mô hình và được sử dụng để mô tả quá trình truyền nhiệt và truyền ẩm trong buồng ấp. Hệ số  $K_T$  được xác định bằng thực nghiệm, đặc trưng cho tốc độ bay hơi của trứng. Hệ số này phụ thuộc vào mật độ lỗ khí trên vỏ, kích thước lỗ khí, độ dày của vỏ và khối lượng của trứng (E. David Peebles, Christopher D. McDaniel, 2004). Trong thực tế sử dụng tốc độ bay hơi tương đối tính theo khối lượng trứng tươi khi đưa trứng vào ấp.

### 3.2. Mô hình hoá quá trình trao đổi nhiệt ẩm trong vùng chứa trứng

Mô hình toán học mô tả quá trình trao đổi nhiệt ẩm trong vùng chứa trứng được xây dựng dựa trên quá trình cân bằng năng lượng và vật chất trong một phân tố thể tích  $\Delta V$ , có diện tích bằng diện tích của vùng có vectơ vận tốc dòng khí không đổi  $A$ , chiều dày  $\Delta y$  theo chiều chuyển động của dòng khí tại tọa độ  $y$  tính từ đầu vào của dòng khí. Mô hình buồng ấp được mô tả trên hình 1.

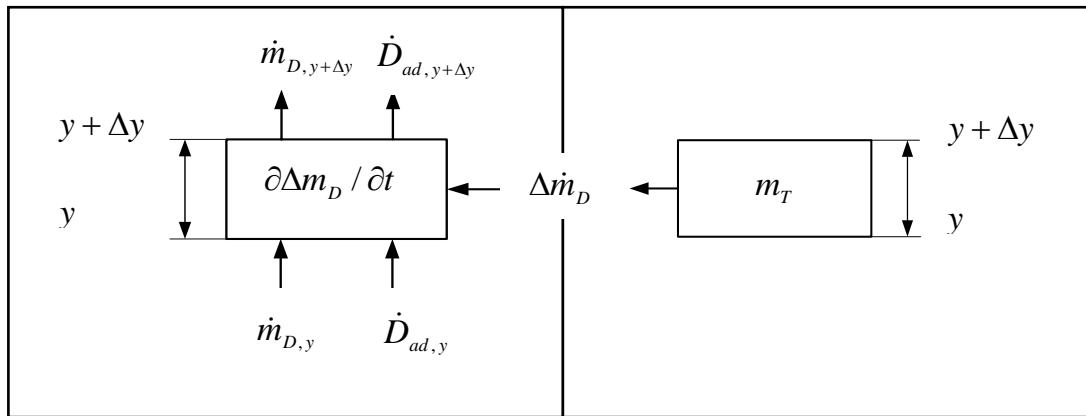


1. Dàn khay
2. Hệ giá treo
3. Hệ thống điều khiển
4. Quạt và lỗ hút gió
5. Quạt trộn gió
6. Lỗ thổi gió nóng
7. Phân tử đốt nóng
8. Vỏ máy
9. Cơ cấu đảo trứng
10. Bộ tạo ẩm
11. Lỗ hút khí tươi
12. Cánh cửa

Hình 1. Cấu trúc mô hình buồng áp

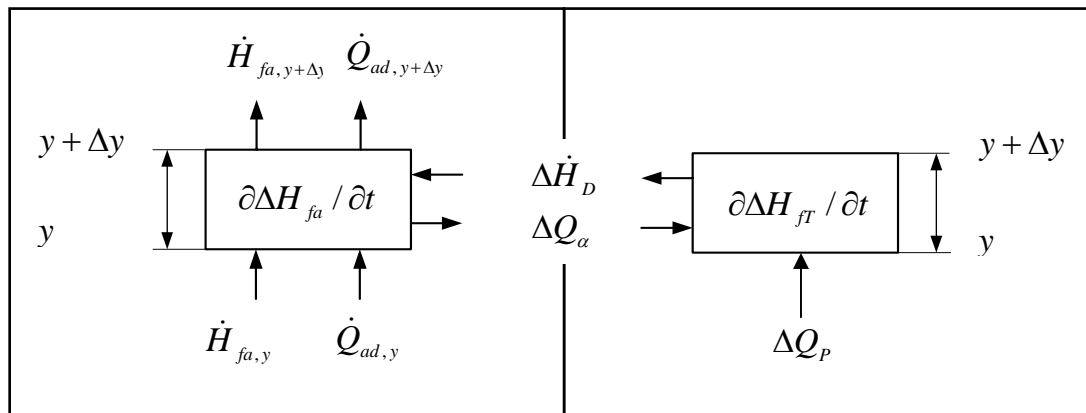
Cân bằng khối lượng của dòng khí

Cân bằng khối lượng của trứng



Cân bằng năng lượng của dòng khí

Cân bằng năng lượng của trứng



Hình 2. Mô hình cân bằng khối lượng và năng lượng

Qui ước dòng vật chất và nhiệt lượng đi vào đơn vị thể tích mang dấu dương và đi ra mang dấu âm. Mô hình cân bằng khối lượng và năng lượng trong một đơn vị thể tích của vùng chứa trứng được mô tả như hình 2

Cung cấp dòng khí có nhiệt độ đầu vào  $T_{ao}$  độ ẩm  $Y_{ao}$  tốc độ  $\omega_o$  không đổi vào vùng chứa trứng. Gọi  $\psi$  là độ rỗng của của vùng không gian thể tích đơn vị, không gian do không khí chiếm

chỗ là  $\psi \cdot \Delta V$ , trứng và giá đỡ chiếm thể tích  $(1-\psi)\Delta V$ . Phần giá đỡ chiếm thể tích khá nhỏ có thể bỏ qua. Vận tốc của dòng khí trong vùng chứa trứng được xác định bởi:

$$\omega = \frac{\omega_o}{\psi} ; \quad (8)$$

Dòng nhiệt và ẩm khuếch tán đi qua đơn vị thể tích được xác định theo các hệ số truyền nhiệt và truyền ẩm khuếch tán không đổi theo chiều trục  $y$ :  $\dot{Q}_{ad} = -\Lambda_{ad} \cdot A \cdot \frac{\partial T_a}{\partial y}$  (9)

$$\dot{D}_{ad} = -\Delta_{ad} \cdot \rho_{dra} \cdot A \cdot \frac{\partial Y_a}{\partial y} \quad (10)$$

Trong đó:  $\Lambda_{ad}$  và  $\Delta_{ad}$  là các hệ số truyền nhiệt và truyền ẩm khuếch tán,  $\rho_{dra}$  là khối lượng riêng và  $Y_a$  là hàm lượng ẩm của dòng khí.

Đối với thành phần thay đổi, sử dụng phương pháp khai triển Taylor (Crank J.,1975,) và bỏ qua các thành phần bậc cao:

$$\dot{m}_{D,y+\Delta y} - \dot{m}_{D,y} = \frac{\partial \dot{m}_D}{\partial y} \Delta y \quad (11)$$

$$\dot{D}_{ad,y+\Delta y} - \dot{D}_{ad,y} = \frac{\partial \dot{D}_{ad}}{\partial y} \Delta y \quad (12)$$

$$\dot{H}_{fa,y+\Delta y} - \dot{H}_{fa,y} = \frac{\partial \dot{H}_{fa}}{\partial y} \Delta y \quad (13)$$

$$\dot{Q}_{ad,y+\Delta y} - \dot{Q}_{ad,y} = \frac{\partial \dot{Q}_{ad}}{\partial y} \Delta y \quad (14)$$

Từ các biểu thức trên tiến hành xác định các phương trình cân bằng khối lượng và năng lượng của dòng khí và trứng.

#### *Phương trình cân bằng khối lượng của dòng khí*

Sự thay đổi của khối lượng hơi nước trong vùng rỗng của đơn vị thể tích được xác định từ độ lệch của dòng khối lượng vào và ra khỏi phần tử:

$$\frac{\partial \Delta m_D}{\partial t} = -\frac{\partial \dot{D}_{ad}}{\partial y} \Delta y - \frac{\partial \dot{m}_D}{\partial t} \Delta y + \Delta \dot{m}_D \quad (15)$$

Trong đó:

$\Delta m_D$  là lượng hơi nước có trong không gian rỗng của đơn vị thể tích:

$$\Delta m_D = \psi \cdot \rho_{dra} \cdot Y_a \cdot A \cdot \Delta y \quad (16)$$

$\dot{m}_D$  là lưu khối hơi nước được dòng khí vận chuyển:

$$\dot{m}_D = \omega_o \cdot \rho_{dra} \cdot Y_a \cdot A \quad (17)$$

$\Delta \dot{m}_D$  là lượng hơi nước từ trứng đi vào không khí của vùng rỗng:

$$\Delta \dot{m}_D = -(1 - \psi) \cdot \rho_{drT} \frac{\partial X}{\partial t} \cdot A \cdot \Delta y \quad (18)$$

Thay các biểu thức (16), (17) và (18) vào biểu thức (15) nhận được phương trình cân bằng khối lượng cho dòng khí trong đơn vị thể tích:

$$\psi \cdot \rho_{dra} \cdot \frac{\partial Y}{\partial t} = \Delta_{ad} \cdot \rho_{dra} \frac{\partial^2 Y}{\partial y^2} - \omega_o \cdot \rho_{dra} \frac{\partial Y}{\partial y} - (1 - \psi) \rho_{drT} \frac{\partial X}{\partial t} \quad (19)$$

*Phương trình cân bằng năng lượng của dòng khí*

Sự thay đổi entanpi của dòng khí trong đơn vị thể tích theo thời gian được xác định bởi độ lệch entanpi và dòng nhiệt vào và ra khỏi đơn vị thể tích:

$$\frac{\partial \Delta H_{fa}}{\partial t} = -\frac{\partial \dot{Q}_{ad}}{\partial y} \Delta y - \frac{\partial \dot{H}_{fa}}{\partial y} \Delta y - \Delta \dot{Q}_\alpha + \Delta \dot{H}_D \quad (20)$$

Entanpi của không khí ẩm  $\Delta H_{fa}$  được tính theo khối lượng không khí khô chứa trong phần rỗng của đơn vị thể tích  $\Delta m_{dra}$ :

$$\Delta m_{dra} = \psi \cdot \rho_{dra} \cdot A \cdot \Delta y \quad (21)$$

$$\Delta H_{fa} = \Delta m_{dra} \cdot h_{fa} = \psi \cdot \rho_{dra} \cdot h_{fa} \cdot A \cdot \Delta y \quad (22)$$

với  $h_{fa}$  là entanpi riêng của không khí ẩm được tính theo khối lượng của không khí khô. Tương tự vậy, dòng entanpi của không khí ẩm  $\dot{H}_{fa}$  cũng được tính theo lưu khối của không khí khô  $\dot{m}_{dra}$ :

$$\dot{H}_{fa} = \dot{m}_{dra} \cdot h_{fa} = \omega_o \cdot \rho_{dra} \cdot h_{fa} \cdot A \quad (23)$$

$$\text{với } \dot{m}_{dra} = \omega_o \cdot \rho_{dra} \cdot A \quad (24)$$

Dòng nhiệt đối lưu được trứng hấp thụ từ dòng khí được xác định bởi biểu thức:

$$\Delta \dot{Q}_\alpha = h_{cTa} \cdot A_v (T_a - T_T) A \cdot \Delta y \quad (25)$$

Diện tích trao đổi thể tích của trứng có kích thước đặc trưng  $d_k$ :

$$A_v = \frac{6(1-\psi)}{d_{KT}} \quad (26)$$

Dòng entanpi  $\Delta\dot{H}_D$  của lưu khối hơi nước  $\Delta\dot{m}_D$  được tính theo biểu thức:

$$\Delta\dot{H}_D = \Delta\dot{m}_D \cdot h_D(T_T) \quad (27)$$

Thay biểu thức (18) vào (27) nhận được biểu thức tính toán dòng entanpi của lưu khối hơi nước:

$$\Delta\dot{H}_D = -(1-\psi)\rho_{drT} \cdot h_D(T_T) \frac{\partial X}{\partial t} A \cdot \Delta y \quad (28)$$

Thay các phương trình (21), (23), (25) và (28) vào phương trình (20) nhận được phương trình cân bằng năng lượng cho dòng khí:

$$\psi\rho_{dra} \frac{\partial h_{fa}}{\partial t} = \Lambda_{ad} \cdot \rho_{dra} \cdot \frac{\partial^2 T_a}{\partial t^2} - \omega_o \cdot \rho_{dra} \cdot \frac{\partial h_{fa}}{\partial y} - h_{cTa} \cdot A_v (T_a - T_T) - (1-\psi)\rho_{drT} \cdot h_D(T_T) \frac{\partial X}{\partial t} \quad (29)$$

#### *Cân bằng khối lượng của trứng*

Trong quá trình ấp, lưu khối nước từ trứng chuyển sang không khí trong vùng rỗng của đơn vị thể tích đã được xác định bởi biểu thức (18) có dạng:

$$\Delta\dot{m}_D = -(1-\psi) \cdot \rho_{drT} \frac{\partial X}{\partial t} \cdot A \cdot \Delta y$$

#### *Cân bằng năng lượng của trứng*

Sự thay đổi năng lượng của trứng theo thời gian trong quá trình ấp được tính bằng tổng năng lượng mà trứng nhận được và mất đi:

$$\frac{\partial \Delta H_T}{\partial t} = \Delta\dot{Q}_\alpha + \Delta\dot{Q}_p - \Delta\dot{H}_D \quad (30)$$

Độ chênh lệch entanpi của trứng trong đơn vị thể tích có thể được xác định theo sự thay đổi khối lượng của trứng và entanpi riêng của trứng:

$$\Delta m_{drT} = (1-\psi)\rho_{drT} \cdot A \cdot \Delta y \quad (31)$$

$$\Delta H_{fT} = \Delta m_{drT} \cdot h_T = (1-\psi)\rho_{drT} \cdot A \cdot h_{fT} \cdot \Delta y \quad (32)$$

Năng lượng sinh ra trong quá trình phát triển của phôi được xác định theo khối lượng của trứng và hệ số sinh nhiệt của phôi:

$$\Delta\dot{Q}_p = (1-\psi)\rho_{drT} \cdot h_p \cdot A \cdot \Delta y \quad (33)$$

Thay các phương trình (31), (32) và (33) vào phương trình (30) nhận được phương trình cân bằng năng lượng của trứng:

$$(1-\psi)\rho_{drT} \frac{\partial h_{fT}}{\partial t} = h_{cTa} \cdot A_v (T_a - T_T) + (1-\psi)\rho_{drT} \cdot h_p + (1-\psi)\rho_{drT} \cdot h_D (T_T) \frac{\partial X}{\partial t} \quad (34)$$

### 3.3. Đơn giản hoá mô hình nhiệt ẩm trong vùng chứa trứng

Mô hình trao đổi nhiệt ẩm trong vùng chứa trứng có thể đơn giản hoá với các giả thiết như sau:

- Trứng là hình cầu với đường kính tương đương  $d_k$  có cùng kích thước và cấu tạo giống nhau.

- Phân trứng và phân rỗng trong khối trứng là đồng đều.

- Bỏ qua sự truyền nhiệt theo chiều ngang của dòng khí.

- Bỏ qua phân tán nhiệt và ẩm theo chiều dọc trục.

- Bỏ qua gradien nhiệt độ bên trong của trứng.

Từ những giả thiết trên tiến hành xác định sự thay đổi của nhiệt độ và ẩm độ của trứng và dòng khí theo không gian và thời gian.

*Sự thay đổi nhiệt độ dòng khí theo trục toạ độ*

Với những giả thiết đã nêu, ở chế độ làm việc ổn định  $\frac{\partial T_a}{\partial t} = 0, \frac{\partial Y_a}{\partial t} = 0, \Lambda_{ad} = 0$ , phương trình (29) có dạng đơn giản hoá:

$$\omega_o \cdot \rho_{dra} \cdot (C_{pdra} + Y \cdot C_{pD}) \frac{\partial T_a}{\partial y} = -h_{cTa} \cdot A_v (T_a - T_T) - (1-\psi)\rho_{drT} \cdot C_{pD} (T_a - T_T) \frac{\partial X}{\partial t} \quad (35)$$

*Sự thay đổi độ ẩm dòng khí theo chiều trục toạ độ*

Ở chế độ làm việc ổn định  $\frac{\partial Y_a}{\partial t} = 0$  và dòng ẩm khuếch tán dọc trục bằng không  $\Lambda_{ad} = 0$ , phương trình mô tả sự thay đổi hàm lượng nước có dạng:

$$\omega_o \cdot \rho_{dra} \frac{\partial Y_a}{\partial y} = -(1-\psi)\rho_{drT} \frac{\partial X}{\partial t} \quad (36)$$

*Sự thay đổi nhiệt độ của trứng theo thời gian*

Từ biểu thức xác định entanpi riêng của hơi ẩm thoát ra từ trứng:

$$h_{fT} = (C_{drT} + C_w \cdot X) T_T + R_b (X) \quad (37)$$

và phương trình cân bằng năng lượng của trứng (34) ta nhận được phương trình biểu diễn nhiệt độ của trứng thay đổi theo thời gian:

$$(1-\psi)\rho_{drT} (C_{drT} + C_w \cdot X) \frac{\partial T_T}{\partial t} = h_{cTa} \cdot A_v (T_a - T_T) + (1-\psi)\rho_{drT} \cdot h_p + (1-\psi)\rho_{drT} \cdot r(T_T, X) \frac{\partial X}{\partial t} \quad (38)$$

Thông số  $r(T_T, X)$  là độ lệch entanpi riêng của nước giữa trạng thái hơi khi ra khỏi vỏ trứng và trạng thái nước liên kết trong vỏ trứng:

$$r(T_T, X) = h_D(T_T) - h_w(T_T) + r_b(X) = r(T_T) + r_b(X) \quad (39)$$

Trong đó  $r(T_T)$  và  $r_b(X)$  được xác định bởi:

$$r(T_T) = r_{ro} - (C_w - C_{pD})T_T ; r_b(X) = R_D.T.\ln \varphi^* \quad (40)$$

### 3.4. Mô hình toán học quá trình trao đổi nhiệt ẩm trong vùng chứa trứng

Từ mô hình động học (6) và các phương trình nhiệt độ và độ ẩm dòng khí và của trứng (35), (36) và (38) ta có thể xác định được hệ phương trình mô tả trạng thái nhiệt ẩm của không gian chứa trứng:

$$\left[ \begin{array}{l} \frac{\partial X}{\partial t} = K_T(X^* - X) \\ \frac{\partial Y}{\partial y} = -(1-\psi) \frac{\rho_{drT}}{\omega_o \cdot \rho_{dra}} \cdot \frac{\partial X}{\partial t} \\ \frac{\partial T_a}{\partial y} = \frac{\psi}{\omega_o \cdot \rho_{dra} \cdot (C_{pdra} + Y \cdot C_{pD})} \left[ -h_{cTa} \cdot A_v (T_a - T_T) - (1-\psi) \rho_{drT} \cdot C_{pD} (T_a - T_T) \cdot \frac{\partial X}{\partial t} \right] \\ \frac{\partial T_T}{\partial t} = \frac{1}{(1-\psi) \rho_{drT} (C_{drT} + C_w \cdot X)} \left[ h_{cTa} \cdot A_v (T_a - T_T) + (1-\psi) \rho_{drT} \cdot h_p + (1-\psi) \rho_{drT} \cdot r(T_T, X) \cdot \frac{\partial X}{\partial t} \right] \end{array} \right]$$

(41)

Hệ phương trình (41) là hệ phương trình vi phân phi tuyến theo hai chiều không gian và thời gian. Hệ phương trình này không thể giải được bằng phương pháp giải tích mà chỉ có thể giải gần đúng bằng các phương pháp số (Husain A., Chen C.S., Clayton J. T, Whitney L.F, 1972).

## 4. KẾT LUẬN

Quá trình trao đổi nhiệt ẩm trong vùng chứa trứng được mô tả bằng hệ phương trình vi phân riêng (phương trình 41) cho biết mối quan hệ giữa các thông số trong vùng công nghệ làm cơ sở cho việc nghiên cứu và thiết kế hệ thống máy nói chung và hệ thống điều khiển nói riêng.

Nhiệt độ và độ ẩm của dòng khí Ta, Ya, nhiệt độ và hàm lượng nước của trứng Tt và X là các hàm phụ thuộc vào tốc độ bay hơi nước của trứng  $\frac{\partial X}{\partial t}$ . Thông số của mô hình động học được xác định bằng thực nghiệm.

Mô hình (41) là hệ phương trình vi phân phi tuyến theo hai trục không gian y và thời gian t. Biến đổi và giải hệ phương trình (41) cho phép xác định các thông số cơ bản của buồng ấp theo các điều kiện đầu vào cho trước và kết quả tính toán được sử dụng trong việc phân tích và tổng hợp hệ thống điều khiển cho toàn hệ thống.

### Tài liệu tham khảo

- Crank J., (1975), *The Mathematics of Diffusion*, Oxford University Press,  
 Bala, B. K. (1998), *Solar drying systems: Simulations and optimization*, Agrotech Publishing Academy, Udaipur, pp. 131-133.  
 Haghighi K., Segerlind L.J, (1988), Modeling Simultaneous Heat and Mass Transfer in Isotropic Sphere, Trans. ASEA, pp. 31  
 Husain A., Chen C.S., Clayton J. T, Whitney L.F (1972), Mathematical Simulation of Mass and Heat Transfer in High Moisture Foods, Trans. ASAE, pp. 55-59.



- Husain A., Chen C.S., Clayton J. T (1973), Simultaneous Heat and Mass Diffusion in Biological Material, Trans. ASAE, pp. 69-73.
- Luikov, A. V. (1980), Heat and mass transfer, Mir Publisher, Moscow
- Peebles E. D, Christopher D. McDaniel (2004), A Practical Manual for Understanding the Shell Structure of Broiler Hatching Eggs and Measurement of their Quality, Mississippi State University, p. 3-5.