

**XÁC ĐỊNH HỆ SỐ PHẢN ỨNG NHIỆT
CỦA TƯỜNG XÂY DỰNG Ở ĐIỀU KIỆN VIỆT NAM
THEO PHƯƠNG PHÁP HỒI QUI MIỀN TẦN SỐ
DETERMINATION OF THERMAL RESPONSE FACTORS
OF BUILDING WALL IN VIET NAM CONDITION
BASED ON FREQUENCY DOMAIN REGRESSION METHOD**

Lê Minh Nhựt

Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật TP HCM

Ngày tòa soạn nhận bài 05/9/2016, ngày phản biện đánh giá 6/10/2016, ngày chấp nhận đăng 01/11/2016

TÓM TẮT

Mục đích của nghiên cứu này là xác định các hệ số phản ứng nhiệt của vách tường xây dựng trong điều kiện Việt Nam để sử dụng cho tính toán tải nhiệt. Trong nghiên cứu này, một chương trình Matlab được phát triển dựa trên phương pháp hồi qui miền tần số để thiết lập hàm truyền đa thức s dẫn nhiệt tức thời qua tường xây dựng. Các hệ số phản ứng nhiệt đạt được dựa vào sự biến đổi Laplace của hàm truyền đa thức s . Kết quả tính toán cho thấy các hàm truyền đa thức bậc 5 của truyền nhiệt phía ngoài, xuyên qua vào phía trong của tường xây dựng được tìm tại 55 điểm đầu tiên của $N=11 \times (7-2)+1$ điểm tần số trong dải tần số ω_k từ 10^{-7} đến 10^{-2} radian/s và phần trăm sai số giữa hệ số truyền nhiệt U và tổng các hệ số phản ứng nhiệt của truyền nhiệt phía ngoài, xuyên qua và phía trong của vách tường theo công thức lần lượt là $7.44 \times 10^{-9}\%$, $5.83 \times 10^{-9}\%$, $5.86 \times 10^{-9}\%$.

Từ khóa: Hệ số phản ứng nhiệt; tường xây dựng; phương pháp hồi qui miền tần số; dẫn nhiệt tức thời; tải nhiệt.

ABSTRACT

The objective of this research is to determine the thermal response factors of building wall to use for thermal load calculation of building in Viet Nam condition. In this work, a MATLAB program was developed based on the frequency domain regression (FDR) method to estimate the polynomial s -transfer function of transient heat conduction of building wall. The values of thermal response factors were obtained by applying Laplace transforms on the polynomial s -transfer function. The calculated results showed that the fifth-order polynomial s -transfer functions of the outside heat conduction $G_x(s)$, across heat conduction $G_y(s)$ and inside heat conduction $G_z(s)$ of building wall were found at the 55 first points of $N=11 \times (7-2)+1$ frequency points within the frequency range of 10^{-7} to 10^{-2} radian. s^{-1} , and the error percentage between the thermal transmittance coefficient U and the sum of thermal response factors of the outside heat conduction, across heat conduction and inside heat conduction of the building wall were $7.44 \times 10^{-9}\%$, $5.83 \times 10^{-9}\%$, $5.86 \times 10^{-9}\%$, respectively.

Keywords: Thermal response factors; building wall; frequency domain regression method; transient heat conduction; thermal load.

1. GIỚI THIỆU

Trong nền kinh tế đang phát triển, các tòa nhà cao tầng, khách sạn, khu nghỉ dưỡng và các nhà máy xí nghiệp ngày càng được xây dựng nhiều hơn đòi hỏi bổ sung các phương pháp tính toán nhiệt vật liệu mới để có thể đáp ứng yêu cầu xây dựng công trình xanh hiện nay.

Việc tính toán tải nhiệt là nhiệm vụ cốt yếu trong thiết kế và mô phỏng các quá trình nhiệt qua kết cấu bao che của công trình. Đối với các tòa nhà ở khí hậu nhiệt đới, dòng nhiệt qua kết cấu xây dựng chiếm phần lớn phụ tải nhiệt, do đó việc tính toán chính xác dòng nhiệt này là điều rất quan trọng. Thông thường, tính toán dòng nhiệt qua kết cấu xây dựng thường tính theo trạng thái ổn định vì đơn giản nhưng có nhược điểm là độ chính xác không cao. Thực tế dòng nhiệt qua cấu trúc xây dựng là dòng nhiệt không ổn định (phụ thuộc thời gian) và tính toán dòng nhiệt không ổn định có ưu điểm dự đoán chính xác tải nhiệt và tải đỉnh nhưng có nhược điểm là tính toán rất phức tạp. Do đó các nhà khoa học trong quá trình xây dựng phương pháp tính toán đã đơn giản hóa bài toán dòng nhiệt tức thời qua kết cấu xây dựng dựa vào phương pháp chuyển đổi Laplace và Laplace ngược được đề xuất sớm nhất bởi Churchill và Briskin[1,2]. Dựa trên nghiên cứu của Churchill và Briskin, Stephenson và Mitalas[3-6] đã cải tiến và đề xuất một phương pháp tính dòng nhiệt tức thời qua cấu trúc xây dựng dựa vào các hệ số phản ứng nhiệt. Trong phương pháp này, dòng nhiệt tức thời liên quan đến giá trị nhiệt độ hiện tại và giá trị trước đó. Tuy nhiên, chuỗi các giá trị hệ số phản ứng nhiệt của cấu trúc xây dựng thường rất dài, vì vậy quá trình tìm nghiệm của hàm hyperbolic rất phức tạp dẫn đến tính toán sai do mất nghiệm, đặc biệt là những nghiệm ở gần nhau. Một phương pháp cải tiến sự tìm nghiệm mẫu số hàm đa thức dựa vào sự đổi dấu của nghiệm trên trục

tọa độ được đề xuất, nhưng phương pháp này có nhược điểm là tăng độ phức tạp khi tính toán[7]. Phương pháp không gian trạng thái cũng được đề xuất để tránh sự mất nghiệm, ưu điểm của phương pháp này là hệ số phản ứng nhiệt của cấu trúc xây dựng được tìm mà không cần tìm nghiệm của hàm truyền đa thức[8]. Gần đây, Chen và cộng sự [9] trình bày phương pháp điểm lưới dựa trên kỹ thuật nhận dạng hệ thống để xác định hàm truyền của cấu trúc xây dựng kín từ dữ liệu thí nghiệm. Tác giả kết luận rằng kỹ thuật này có thể tìm hệ số phản ứng nhiệt của cấu trúc xây dựng không đồng nhất. Phương pháp hồi qui miền tần số được phát triển để thiết lập hàm truyền dẫn nhiệt của cấu trúc xây dựng nhiều lớp theo đặc trưng phản ứng tần số lý thuyết của nó và được tính toán dựa trên phép nhân nhiều ma trận bên trong phạm vi tần số xem xét[10]. Wang và Chen [11-13] đề xuất một mô hình tính tải nhiệt cho cấu trúc xây dựng dựa trên phương pháp hồi qui miền tần số để xác định các hệ số của hàm truyền dẫn nhiệt. Theo kết quả tính toán, các tác giả khẳng định rằng hàm truyền đa thức s đạt được từ lý thuyết phản ứng tần số của cấu trúc xây dựng dựa vào phương pháp hồi qui miền tần số là tương đương hàm truyền hyperbolic s theo các số hạng của tần số đặc trưng. Để giảm bớt các bước tính toán cho các cấu trúc xây dựng có nhiều hệ số phản ứng nhiệt, một phương pháp tính hệ số phản ứng nhiệt theo chu kỳ thời gian cũng được đề xuất, trong nghiên cứu này, hệ số phản ứng nhiệt theo chu kỳ được xác định theo các cực và phần dư của hàm truyền đa thức s [14]. Để rút ngắn khoảng cách thời gian giữa hai giá trị của hệ số phản ứng nhiệt nhằm tăng độ chính xác và phù hợp với các giá trị thời gian thực tế thí nghiệm, Wang và cộng sự [15] đã nghiên cứu và kết luận rằng đối với cấu trúc xây dựng nhẹ và trung bình thì các hệ số hàm truyền dẫn nhiệt có thể được tính với bước nhảy thời gian là 60 giây còn cấu trúc xây

dựng nặng là 300 giây. Tóm lại, để tính dòng nhiệt tức thời qua vách tường xây dựng thì hệ số phản ứng nhiệt đóng vai trò rất quan trọng. Hiện nay phương pháp hồi qui miền tần số được sử dụng rộng rãi để tính toán hệ số phản ứng nhiệt vì nó có độ chính xác cao. Tuy nhiên, đối với mỗi loại vật liệu xây dựng khác nhau thì hệ số phản ứng nhiệt sẽ hội tụ khác nhau vì đặc trưng tần số khác nhau.

Mục đích của nghiên cứu này là sử dụng phương pháp hồi qui miền tần số để tính toán các hệ số phản ứng nhiệt của vách tường xây dựng theo tiêu chuẩn Việt Nam nhằm xây dựng cơ sở dữ liệu để sử dụng cho việc tính toán dòng nhiệt tức thời khi tính toán tải nhiệt, tải lạnh và mô phỏng dòng nhiệt tức thời để xác nhận giữa lý thuyết và thực nghiệm.

2. CƠ SỞ LÝ THUYẾT

2.1 Phương pháp hồi qui miền tần số

Thông thường, cấu trúc xây dựng của các tòa nhà thường có nhiều hơn hai lớp. Trong nghiên cứu này, vật liệu mỗi lớp của tường xây dựng được xem như là đồng nhất cả về tính chất, hệ số dẫn nhiệt và nhiệt dung riêng. v.v... Phương trình vi phân dòng nhiệt truyền qua các lớp tường xây dựng xem như là một chiều và có dạng được tính như sau:

$$\frac{\partial^2 T(x,t)}{\partial x^2} = \frac{\lambda}{\rho \cdot c_p} \frac{\partial T(x,t)}{\partial t} \quad (1)$$

Ở đây, T là trường nhiệt độ phụ thuộc tọa độ x, và thời gian t. Còn λ , ρ và c_p là hệ số dẫn nhiệt, khối lượng riêng và nhiệt dung riêng của vật liệu.

Dòng nhiệt tại vị trí tọa độ x và thời gian bất kỳ t được tính như sau:

$$q(x,t) = -\lambda \frac{\partial T(x,t)}{\partial x} \quad (2)$$

Khi thừa nhận rằng các tính chất của vật liệu tường như hệ số dẫn nhiệt, khối lượng riêng và nhiệt dung riêng mỗi lớp tường là

không đổi, và giá trị nhiệt độ $T(x,0)=0$, thì phương trình (1) và (2) được biểu diễn qua biến Laplace s liên quan đến dòng nhiệt và nhiệt độ cả hai bề mặt như công thức sau[1-7]:

$$\begin{bmatrix} T_i(s) \\ q_i(s) \end{bmatrix} = M(s) \begin{bmatrix} T_o(s) \\ q_o(s) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A(s) & B(s) \\ C(s) & D(s) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} T_o(s) \\ q_o(s) \end{bmatrix} \quad (3)$$

$M(s)$ là ma trận tích của toàn bộ vách tường và nó được tính như công thức (4):

$$M(s) = \begin{bmatrix} A(s) & B(s) \\ C(s) & D(s) \end{bmatrix} = M_n(s) \dots M_1(s) \quad (4)$$

Ở đây $M_i(s)$ là ma trận của lớp thứ i và được tính như sau:

$$M_i(s) = \begin{bmatrix} A_i & B_i \\ C_i & D_i \end{bmatrix} \quad (i=1,2,\dots,n) \quad (5)$$

và mỗi phân tử của nó được biểu diễn qua hàm hyperbolic với biến Laplace s như sau:

$$A_i = D_i = \cosh(L_i \sqrt{s/a_i}) \quad (6)$$

$$B_i = -R_i \sinh(L_i \sqrt{s/a_i}) / (L_i \sqrt{s/a_i}) \quad (7)$$

$$C_i = -L_i \sqrt{s/a_i} \sinh(L_i \sqrt{s/a_i}) / R_i \quad (8)$$

Trong đó L_i , R_i và $a_i = (\lambda_i / \rho_i c_{pi})$ là chiều dày, nhiệt trở và hệ số dẫn nhiệt độ lớp thứ i của tường xây dựng.

Công thức (3) có thể viết lại dựa trên sự liên quan của nhiệt độ và dòng nhiệt của hai bề mặt như sau:

$$\begin{bmatrix} q_o(s) \\ q_i(s) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -G_X(s) & G_Y(s) \\ -G_Y(s) & G_Z(s) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} T_o(s) \\ T_i(s) \end{bmatrix} \quad (9)$$

Trong đó $G_X(s)$, $G_Y(s)$ và $G_Z(s)$ là các hàm truyền nhiệt phía ngoài, xuyên qua và phía trong của vách tường. Đây là các hàm siêu việt. Khi $A(s)D(s) - C(s)B(s) = 1$ thì $G_X(s)$, $G_Y(s)$ và $G_Z(s)$ được tính như sau:

$$G_X(s) = A(s) / B(s) \quad (10)$$

$$G_Y(s) = 1 / B(s) \quad (11)$$

$$G_Z(s) = D(s) / B(s) \quad (12)$$

Khi thay $s = j\omega$ vào công thức (10-12) thì các hàm này trở thành hàm phức $G_X(j\omega)$, $G_Y(j\omega)$ và $G_Z(j\omega)$, và đây chính là các đặc trưng tần số của truyền nhiệt phía ngoài, xuyên qua và phía trong của vách tường.

Khi thừa nhận rằng các hàm truyền vách tường có thể biểu diễn qua hàm truyền hyperbolic $\tilde{G}(s)$ dạng đa thức dựa trên phương pháp hồi qui miền tần số như sau[10-12]:

$$\tilde{G}(s) = \frac{\beta_0 + \beta_1 s + \beta_2 s^2 + \dots + \beta_r s^r}{1 + \alpha_1 s + \alpha_2 s^2 + \dots + \alpha_m s^m} = \frac{\tilde{B}(s)}{1 + \tilde{A}(s)} \quad (13)$$

Ở đây: α_i and β_i là các hệ số thực, r và m là bậc của tử số và mẫu số. Khi thay $s = j\omega_k$ ($k=1,2,\dots,N$) vào công thức (13) thì ta có công thức được tính như sau:

$$\tilde{G}(j\omega_k) = \frac{\beta_0 + \beta_1 j\omega_k + \beta_2 (j\omega_k)^2 + \dots + \beta_r (j\omega_k)^r}{1 + \alpha_1 j\omega_k + \alpha_2 (j\omega_k)^2 + \dots + \alpha_m (j\omega_k)^m} = \frac{\tilde{B}(j\omega_k)}{1 + \tilde{A}(j\omega_k)} \quad (14)$$

$$H = \begin{bmatrix} 1 & j\omega_1 & (j\omega_1)^2 & (j\omega_1)^3 & (j\omega_1)^4 & \dots & -j\omega_1 G_1 & -(j\omega_1)^2 G_1 & -(j\omega_1)^3 G_1 & -(j\omega_1)^4 G_1 & \dots \\ 1 & j\omega_2 & (j\omega_2)^2 & (j\omega_2)^3 & (j\omega_2)^4 & \dots & -j\omega_2 G_2 & -(j\omega_2)^2 G_2 & -(j\omega_2)^3 G_2 & -(j\omega_2)^4 G_2 & \dots \\ 1 & j\omega_3 & (j\omega_3)^2 & (j\omega_3)^3 & (j\omega_3)^4 & \dots & -j\omega_3 G_3 & -(j\omega_3)^2 G_3 & -(j\omega_3)^3 G_3 & -(j\omega_3)^4 G_3 & \dots \\ \vdots & & & & & \ddots & & \vdots & & & \vdots \\ 1 & j\omega_N & (j\omega_N)^2 & (j\omega_N)^3 & (j\omega_N)^4 & \dots & -j\omega_N G_N & -(j\omega_N)^2 G_N & -(j\omega_N)^3 G_N & -(j\omega_N)^4 G_N & \dots \end{bmatrix} \quad (19)$$

Khi thừa nhận tồn tại hàm $\hat{\theta}$ nó là cực tiểu của hàm mục tiêu $\hat{\theta} = \min\{j(\theta)\}$, thì hàm mục tiêu có thể biểu diễn:

$$2H^{*T} H \hat{\theta} = H^{*T} g + H^T g^* \quad (20)$$

$$\Gamma = \begin{bmatrix} V_0 & 0 & -V_2 & 0 & V_4 & \dots & W_1 & S_1 & -W_3 & -S_4 & W_5 & \dots \\ 0 & V_2 & 0 & -V_4 & 0 & \dots & -S_2 & W_3 & S_4 & -W_5 & -S_6 & \dots \\ -V_2 & 0 & V_4 & 0 & -V_6 & \dots & -W_3 & -S_4 & W_5 & S_6 & -W_7 & \dots \\ 0 & -V_4 & 0 & V_6 & 0 & \dots & S_4 & -W_5 & -S_6 & W_7 & S_8 & \dots \\ V_4 & 0 & -V_6 & 0 & V_8 & \dots & W_5 & S_6 & -W_7 & -S_8 & W_9 & \dots \\ \vdots & & & & & \ddots & & & & & & \vdots \\ W_1 & -S_2 & -W_3 & S_4 & W_5 & \dots & U_2 & 0 & -U_4 & 0 & U_6 & \dots \\ S_2 & W_3 & -S_4 & -W_5 & S_6 & \dots & 0 & U_4 & 0 & -U_6 & 0 & \dots \\ -W_3 & S_4 & W_5 & -S_6 & -W_7 & \dots & -U_4 & 0 & U_6 & 0 & -U_8 & \dots \\ -S_4 & -W_5 & S_6 & W_7 & -S_8 & \dots & 0 & -U_6 & 0 & U_8 & 0 & \dots \\ W_5 & -S_6 & -W_7 & S_8 & W_9 & \dots & U_6 & 0 & -U_8 & 0 & U_{10} & \dots \\ \vdots & & & & & & & & & & & \vdots \end{bmatrix} \quad (22)$$

Các giá trị N điểm tăng số được tìm trong phạm vi $[10^{-n_1}, 10^{-n_2}]$, $N = 10(n_1 - n_2) + 1$ và tần số xác định theo $\omega_k = 10^{-n_1 + (k-1)(n_1 - n_2)/(N-1)}$ ($k=1,2,\dots,N$). Hàm phức như công thức (14) có thể biểu diễn thành hai thành phần đó là phần thực và phần ảo tại điểm thứ k nào đó như công thức (15):

$$\tilde{G}(j\omega_k) = P_k + jQ_k \quad (15)$$

Các hệ số của hàm đa thức (13,14) được tìm dựa trên hàm chuẩn[11] như sau:

$$J(\theta) = (H^* \theta - g^*)^T (H \theta - g) \quad (16)$$

Ở đây dấu $*$ là lượng liên hợp phức, θ^T , g^T và H được tính như sau[11]:

$$\theta^T = [\beta_0 \ \beta_1 \ \beta_2 \ \beta_3 \ \beta_4 \ \dots \ \alpha_1 \ \alpha_2 \ \alpha_3 \ \alpha_4 \ \dots] \quad (17)$$

$$g^T = [G_1 \ G_2 \ \dots \ G_N] \quad (18)$$

Đặt $\Gamma = \text{real}(H^{*T} H)$ và $2\Theta = \text{real}(H^{*T} g + H^T g^*)$ thì công thức (20) có dạng:

$$\Gamma \hat{\theta} = \Theta \quad \text{hoặc} \quad \hat{\theta} = \Gamma^{-1} \Theta \quad (21)$$

Giá trị của Γ và Θ được tính như sau:

$$\Theta^T = [s_0 \quad W_1 \quad -s_2 \quad -W_3 \quad s_4 \quad \dots \quad 0 \quad U_2 \quad 0 \quad U_4 \quad 0 \quad \dots] \quad (23)$$

Giá trị của V_i , W_i , U_i và S_i được tính như sau:

$$V_i = \sum_{k=1}^N \omega_k^i, \quad S_i = \sum_{k=1}^N \omega_k^i P_k, \\ W_i = \sum_{k=1}^N \omega_k^i Q_k, \quad U_i = \sum_{k=1}^N \omega_k^i (Q_k^2 + P_k^2) \quad (24)$$

Sử dụng kết quả đạt được từ (22) để tính đặc trưng của lý thuyết tầng số (10-12), giá trị các hệ số phản ứng nhiệt xuyên qua của vách tường xây dựng đạt được từ công thức (11) được tính như sau:

$$Y_0 = U + \sum_{i=1}^m \frac{\delta_i}{\Delta\tau} (1 - e^{-s_i \Delta\tau}) \quad (25)$$

$$Y_j = -\sum_{i=1}^m \frac{\delta_i}{\Delta\tau} (1 - e^{-s_i \Delta\tau})^2 e^{-(j-1)s_i \Delta\tau} \quad (26)$$

Ở đây U là nhiệt trở của vách tường xây dựng, thời gian $t = j\Delta\tau$ ($j=1, 2, 3, \dots$), δ_i là phần dư của $G_Y(s)/s^2$ và được tính như sau:

$$\delta_i = \frac{-\tilde{B}(s_i)}{s_i^2 A(s_i)} \quad (27)$$

Ở đây $A(s_i)$ là đạo hàm của $\tilde{A}(s)$ tại nghiệm thứ i và s_i ($i=1, 2, 3, \dots, m$) là nghiệm thứ m của mẫu số $1 + \tilde{A}(s)$.

Giá trị của các hệ số phản ứng nhiệt bên ngoài và bên trong X_j và Z_j ($j=1, 2, 3, \dots$) được tính toán giống (23) và (24) cho $\tilde{G}_X(s)$ và $\tilde{G}_Z(s)$. Dòng nhiệt tức thời qua vách tường tại bề mặt trong và ngoài vách liên quan cả thời gian, nhiệt độ hiện tại và quá khứ được tính như sau [1-11]:

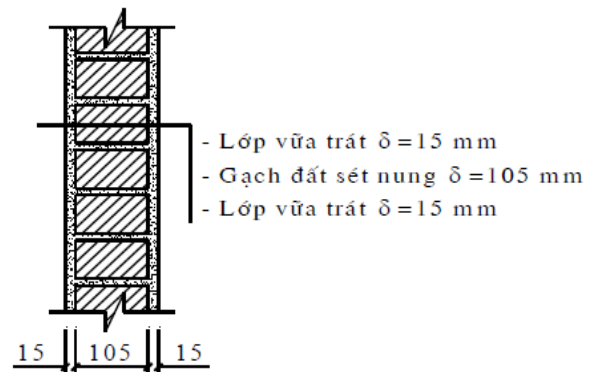
$$q_i(t) = Z_0 T_{i,t} + \sum_{j=1}^n Z_j T_{i,t-j\theta} - Y_0 T_{o,t} - \sum_{j=1}^n Y_j T_{o,t-j\theta} \quad (28)$$

$$q_o(t) = -X_0 T_{o,t} - \sum_{j=1}^n X_j T_{o,t-j\theta} + Y_0 T_{i,t} + \sum_{j=1}^n Y_j T_{i,t-j\theta} \quad (29)$$

Ở đây: X_j (W/m^2K) là hệ số phản ứng nhiệt bên ngoài ($j=0, 1, 2, \dots, n$), Y_j (W/m^2K) là hệ số phản ứng nhiệt xuyên qua ($j=0, 1, 2, \dots, n$) và Z_j (W/m^2K) là hệ số phản ứng nhiệt bên trong ($j=0, 1, 2, \dots, n$), T_i, T_o là nhiệt độ bề mặt bên trong và bên ngoài.

2.2 Cấu trúc tường xây dựng

Trong nghiên cứu này, tường đơn (bề dày qui ước: 110mm) gạch đất sét nung (QCVN 09:2013/BXD) như hình 1 được chọn để tính toán các hệ số phản ứng nhiệt vì đây là loại tường xây dựng phổ biến ở Việt Nam.



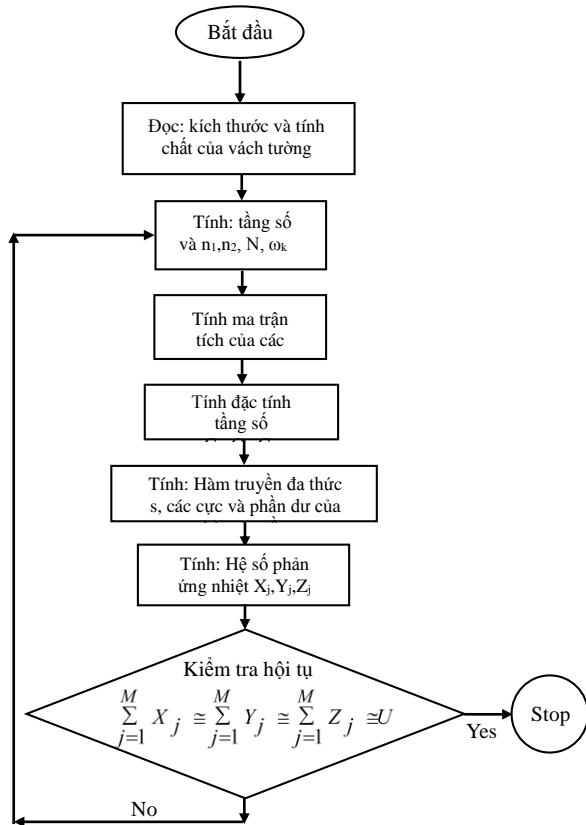
Hình 1. Cấu trúc của tường đơn.

Chi tiết về tính chất của tường xây dựng được thể hiện như trong bảng 1.

Bảng 1. Chiều dày và tính chất tường

Mô tả	Chiều dày δ (m)	Hệ số dẫn nhiệt λ (W/mK)	Khối lượng riêng ρ (kg/m ³)	Nhiệt dung riêng c_p (J/kgK)	Nhiệt trở R (m ² K/W)
Lớp vữa	15	0.93	1800	840	0.0161
Lớp gạch	105	0.52	1300	880	0.2019
Lớp vữa	15	0.93	1800	840	0.0161

Trong nghiên cứu này, một chương trình Matlab được phát triển dựa vào mô hình hóa toán học bên trên để tính toán các giá trị hệ số phản ứng nhiệt của vách tường xây dựng, sơ đồ thuật toán được mô tả như hình 2.



Hình 2. Sơ đồ thuật toán tính hệ số phản ứng nhiệt.

Trong tính toán này, việc lựa chọn chính xác số điểm tần số rất quan trọng. Các giá trị của dãy tần số n_1, n_2 và số điểm tần số

$$\tilde{G}_x(s) = \frac{5.76596 E + 2s^5 + 20.52861 s^4 + 1.57038 E - 1s^3 + 3.27745 E - 4s^2 + 1.65566 E - 7s + 9.33195 E - 12}{s^5 + 1.16256 E - 1s^4 + 1.76683 E - 3s^3 + 7.48867 E - 6s^2 + 9.05539 E - 9s + 2.18158 E - 12} \quad (32)$$

$$\tilde{G}_y(s) = \frac{-3.73796 E - 3s^5 + 3.74384 E - 5s^4 - 5.00301 E - 7s^3 + 2.91567 E - 9s^2 - 1.30533 E - 11s + 2.53427 E - 14}{s^5 + 6.39119 E - 3s^4 + 2.57115 E - 5s^3 + 4.20341 E - 8s^2 + 3.09404 E - 11s + 5.93646 E - 15} \quad (33)$$

$$\tilde{G}_z(s) = \frac{5.76596 E + 2s^5 + 20.52862 s^4 + 1.57038 E - 1s^3 + 3.27745 E - 4s^2 + 1.65566 E - 7s + 9.33195 E - 12}{s^5 + 1.16256 E - 1s^4 + 1.76683 E - 3s^3 + 7.48867 E - 6s^2 + 9.05539 E - 9s + 2.18158 E - 12} \quad (34)$$

Bảng 2. Hệ số phản ứng nhiệt của vách tường xây dựng

j	X(j) (W/m ² K)	Y(j) (W/m ² K)	Z(j) (W/m ² K)
1	17.692758884088555	0.358414062908375	17.692758892782006
2	-11.557014807303762	2.065745782193964	-11.557014818820837
3	-1.277732832644018	1.185332497637180	-1.277732833811779
4	-0.401232480732582	0.422490663005649	-0.401232478023299
5	-0.127340528173747	0.152298587250957	-0.127340527298692
6	-0.040421149410789	0.054940194440758	-0.040421149132950
7	-0.012830741967018	0.019816814201323	-0.012830741878825
8	-0.004072817033803	0.007147935853234	-0.004072817005808
9	-0.001292819904215	0.002578264071633	-0.001292819895328

N được lựa chọn phụ thuộc vào tính chất vật liệu của tường như vật liệu có cấu trúc nặng, trung bình và nhẹ. Để tăng độ chính xác của quá trình tính toán, đặc tính tầng số có giá trị từ N_1 đến N_2 bên trong N điểm tần số được lựa chọn với điều kiện $N_1 \geq 1$ và $N_2 \leq N$ để xây dựng hàm truyền đa thức s. Trong suốt quá trình tính toán, các hệ số của hàm truyền đa thức s như n, m, n_1, n_2, N_1 và N_2 được thay đổi cho đến khi thỏa mãn điều kiện hội tụ (công thức 30). Điều kiện để kiểm tra giá trị của hệ số phản ứng nhiệt đúng hay sai đó là tổng các hệ số phản ứng nhiệt phải bằng hệ số truyền nhiệt U (W/m²K) của vách tường như công thức sau [7-15]:

$$\sum_{j=1}^M X_j = \sum_{j=1}^M Y_j = \sum_{j=1}^M Z_j = U \quad (30)$$

Ở đây U là hệ số truyền nhiệt của vách tường và được tính như sau:

$$U = \frac{1}{R_{vữa} + R_{gạch} + R_{vữa}} \quad (31)$$

Trong đó: $R_{vữa}$ (m²K/W), $R_{gạch}$ (m²K/W) là nhiệt trở của lớp vữa và lớp gạch của tường.

10	-0.000410375249091	0.000929981133487	-0.000410375246270
11	-0.000130263963695	0.000335444658397	-0.000130263962799
12	-0.000041349229212	0.000120995055470	-0.000041349228927
13	-0.000013125339564	0.000043642976812	-0.000013125339473
14	-0.000004166330109	0.000015742043488	-0.000004166330081
15	-0.000001322503429	0.000005678162932	-0.000001322503420
16	-0.000000419797585	0.000002048116200	-0.000000419797582
17	-0.000000133254863	0.000000738756534	-0.000000133254862
18	-0.000000042298620	0.000000266469850	-0.000000042298619
19	-0.000000013426701	0.000000096115808	-0.000000013426701
20	-0.000000004261990	0.000000034669020	-0.000000004261990
21	-0.000000001352868	0.000000012505133	-0.000000001352868
22	-0.000000000429436	0.000000004510608	-0.000000000429436
23	-0.000000000136314	0.000000001626978	-0.000000000136314
24	-0.000000000043270	0.000000000586852	-0.000000000043270
Σ	4.270219489599711	4.270219489032414	4.270219489531991
U	4.270219489281749	4.270219489281749	4.270219489281749

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

Kết quả tính toán theo phương pháp hồi qui miền tần số và chương trình Matlab được phát triển ở trên cho thấy rằng hàm truyền đa thức s bậc 5 của truyền nhiệt phía ngoài $\tilde{G}_x(s)$, xuyên qua $\tilde{G}_y(s)$ và phía trong $\tilde{G}_z(s)$ của vách tường được thể hiện như công thức(32-34). Trong tính toán này, các giá trị của phạm vi dải tần số n_1, n_2 và số điểm tần số N được xác định tại 9,2 và 55 ($N = 11(n_1 - n_2) + 1$). Hệ số phản ứng nhiệt được tìm dựa vào công thức(25-26) tương ứng cho truyền nhiệt phía ngoài, xuyên qua và phía trong được thể hiện trong bảng 2, sự hội tụ của tổng các giá trị của hệ số phản ứng nhiệt tại giá trị $j=24$. Phần trăm sai số giữa hệ số truyền nhiệt U và tổng các hệ số phản ứng nhiệt của dẫn nhiệt phía ngoài, xuyên qua và phía trong của vách tường theo công thức (28) lần lượt là $7.44 \times 10^{-9}\%$, $5.83 \times 10^{-9}\%$, $5.86 \times 10^{-9}\%$.

4. KẾT LUẬN

Trong nghiên cứu này, một chương trình Matlab dựa trên phương pháp hồi qui

miền tần số đã được phát triển để tính toán hệ số phản ứng nhiệt của vách tường xây dựng ở điều kiện Việt Nam. Hàm truyền đa thức s của truyền nhiệt phía ngoài, xuyên qua và phía trong được xác định tại phạm vi dải tần số n_1, n_2 và số điểm tần số N là 9,2 và 55. Sai số giữa hệ số truyền nhiệt U và tổng các hệ số phản ứng nhiệt của truyền nhiệt phía ngoài, xuyên qua và phía trong của vách tường là $7.44 \times 10^{-9}\%$, $5.83 \times 10^{-9}\%$, $5.86 \times 10^{-9}\%$. Sai số này rất nhỏ chứng tỏ kết quả tính toán có độ chính xác cao.

Kết quả nghiên cứu này sẽ được sử dụng làm dữ liệu để tính toán và mô phỏng dòng nhiệt tức thời xuyên qua các loại vách tường xây dựng phổ biến ở Việt Nam.

LỜI CẢM ƠN

Tác giả chân thành cảm ơn sự tài trợ về kinh phí nghiên cứu trong khuôn khổ đề tài nghiên cứu khoa học cấp trường trọng điểm T2016-65TD của trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Tp.HCM.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] R.V. Churchill, Operational mathematics, 2nded. New York: McGraw-Hill,.
- [2] W. N. Brisken and S.G. Reque, Heat load calculations by thermal response, *ASHRAE Transaction*, 62, pp.391-424, 1956.
- [3] G. P. Mitalas, Calculations of transient heat flow through walls and roofs, *ASHRAE Transaction*, 74, pp.182-188, 1968.
- [4] G. P. Mitalas and D.G. Stephenson, Room thermal response factors, *ASHRAE Transaction*, 73(2), III.1.1-1.7, 1967.
- [5] G. P. Mitalas and D.G. Stephenson, Cooling load calculation by thermal response method, *ASHRAE Transaction*, 73(1), pp.125-134, 1967.
- [6] G. P. Mitalas and D.G. Stephenson, Calculations of heat conduction transfer functions for multi-layer slabs, *ASHRAE Transaction*, 77, pp.117-126, 1971.
- [7] D. C. Hittle and R. Bishop, An improved root-finding procedure for use in calculating transient heat flow through multilayered slab, *Int.J. Heat and Mass Transfer*, 26, pp.1685-1693, 1983.
- [8] K. Ouyang and F. Haghighat, A procedure for calculating thermal response factors of multi-layer walls-state space method, *Building and Environment*, 26, pp.173-177, 1991.
- [9] Y. M. Chen and Z. K. Chen, A neural – network based experimental technique for determining z-transfer function coefficients of a building envelope, *Building and Environment*, 35, pp.181-189, 2000.
- [10] Y. M. Chen and S. W. Wang, Frequency-domain regression method for estimating CTF models of building multilayer constructions, *Applied Mathematical Modelling*, 25, pp.579-592, 2001.
- [11] S. W. Wang and Y. M. Chen, A novel and simple building load calculation model for building and system dynamic, *Applied Thermal Engineering*, 21, pp.683-702, 2001.
- [12] S. W. Wang and Y. M. Chen, A simple procedure for calculating thermal response factors and conduction transfer functions of multilayer, *Applied Thermal Engineering*, 22, pp.333-338, 2002.
- [13] S. W. Wang and Y. M. Chen, Transient heat flow calculation for multilayer construction using a frequency domain regression, *Building and Environment*, 38, pp.45-61, 2003.
- [14] Y. M. Chen and S. W. Wang, A new procedure for calculating periodic response factors based on frequency domain regression method, *Int. Journal of Thermal Science*, 44, pp.382-392, 2005.
- [15] J. Wang, S. Wang and et al, Short time step heat flow calculation of building constructions based on frequency domain regression method, *Int. Journal of Thermal Science*, 48, pp.2355-2364, 2009.

Tác giả chịu trách nhiệm bài viết:

Lê Minh Nhựt

Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật TP.HCM

Email: nhutlm@hcmute.edu.vn