

PHƯƠNG PHÁP TÍNH TOÁN BỨC XẠ NHIỆT MẶT TRỜI QUA LỚP KÍNH BẰNG MÔ HÌNH TƯƠNG TỰ NHIỆT ĐIỆN

DETERMINATING OF SOLAR RADIATION THROUGH GLASS LAYER BY RESISTIVE NETWORK MODEL

Nguyễn Đăng Khoát

TÓM TẮT

Bài báo trình bày phương pháp xác định dòng nhiệt bức xạ của mặt trời qua lớp kính trên cơ sở mô hình tương tự nhiệt điện. Kết quả nghiên cứu cho phép tính toán tổn thất nhiệt trong các không gian được làm lạnh do bức xạ từ môi trường bên ngoài. Từ đó làm cơ sở lựa chọn lớp vật liệu kính trong các kết cấu xây dựng, thiết bị công nghiệp để giảm tổn thất nhiệt do bức xạ gây ra.

Từ khóa: Bức xạ mặt trời, tổn thất nhiệt, mô hình tương tự nhiệt điện.

ABSTRACT

The paper presents a method to determine solar radiation heat flow through the glass layer by resistive network model. The results of the study allow to calculate the heat loss in the room due to radiation from the outside. There as a basis for selecting glass materials in construction structures, industrial equipments to reduce heat loss caused radiation.

Keywords: Solar radiation, heat loss, resistive network model.

Trường Đại học Giao thông Vận tải

Email: ndkhoat1979@gmail.com

Ngày nhận bài: 28/4/2021

Ngày nhận bài sửa sau phản biện: 30/5/2021

Ngày chấp nhận đăng: 25/6/2021

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Mặt trời được xem như một quả cầu lửa khổng lồ với đường kính trung bình 1,392.10⁶km và nhiệt độ bề mặt sấp xỉ 6000K [1]. Năng lượng bức xạ của mặt trời là nguồn gốc của mọi sự sống trên trái đất và là nguồn năng lượng vô tận. Người ta đã sử dụng nguồn năng lượng này vào rất nhiều mục đích khác nhau phục vụ cho cuộc sống như sưởi ấm, phát điện, đun nước nóng,... Bên cạnh nguồn năng lượng vô tận và khả năng ứng dụng của nó thì năng lượng bức xạ của mặt trời là nguyên nhân gây ra tổn thất nhiệt trong các không gian cần duy trì nhiệt độ thấp như các kho lạnh bảo quản, không gian điều hòa không khí,... Dưới tác dụng của các tia bức xạ mặt trời, dòng bức xạ nhiệt truyền vào trong phòng bằng cách truyền trực tiếp qua lớp kính ứng với hệ số xuyên qua của kính và truyền vào phòng do bề mặt ngoài của kính hấp thụ nhiệt và truyền vào phòng. Dòng nhiệt tổn thất do bức xạ mặt trời phụ thuộc vào rất nhiều yếu tố: thời điểm trong ngày và trong năm, mức độ nhiễm bụi và mây, hướng của bề mặt nhận bức xạ,... Trong

tính toán thiết kế kho lạnh, điều hòa không khí đã có nhiều công thức tính toán gần đúng lượng nhiệt tổn thất này và được trình bày rất kỹ trong các tài liệu chuyên ngành [2, 3]. Tuy nhiên, trong các công thức tính toán kể trên chưa thể hiện rõ cơ chế và tỷ lệ riêng phần lượng nhiệt truyền bằng bức xạ qua lớp kính theo hình thức hấp thụ và xuyên qua. Xác định rõ cơ chế truyền nhiệt là cơ sở để tính toán thiết kế, lựa chọn vật liệu trong các kết cấu xây dựng, thiết bị nhiệt công nghiệp nhằm giảm tổn thất nhiệt trong các không gian này. Trong bài báo này, phương pháp xác định lượng nhiệt bức xạ của mặt trời qua lớp kính vào trong phòng trên cơ sở mô hình tương tự nhiệt điện được đề cập.

2. GIẢI QUYẾT VẤN ĐỀ

2.1. Cơ sở toán học của mô hình tính toán

Công trình nghiên cứu đầu tiên sử dụng mô hình điện thay thế cho mô hình nhiệt để giải quyết các vấn đề về trao đổi nhiệt bức xạ được Oppenheim [7] đề cập năm 1956. Từ đó đến nay đã có hàng loạt các mô hình tính toán quá trình truyền nhiệt trong các thiết bị dựa trên phương pháp này, có thể tìm thấy trong [5, 6, 8, 9, 10]. Theo phương pháp này, các quá trình truyền nhiệt giữa các thành phần tham gia trao đổi nhiệt được biểu diễn qua sơ đồ mạch điện với các nhiệt trở được thay thế bằng các điện trở.

Năng suất bức xạ hiệu dụng của bề mặt (i) được xác định [4]:

$$J_i = E_i + (1 - \epsilon_i) \cdot E_{t,i} \tag{1}$$

Trong đó:

E_i - Năng suất bức xạ của bề mặt (i), W/m²

$E_{t,i}$ - Mật độ dòng bức xạ tới trên bề mặt (i), W/m²

ϵ_i - Độ đen của bề mặt (i)

Dòng bức xạ hiệu quả của bề mặt (i) được xác định theo công thức:

$$Q_i = F_i \cdot q_i = F_i \cdot (J_i - E_{t,i}) \tag{2}$$

Kết hợp (1) và (2) thu được:

$$Q_i = \frac{F_i \cdot \epsilon_i}{1 - \epsilon_i} \cdot (\sigma_0 \cdot T_i^4 - J_i) \tag{3}$$

Nếu môi trường bức xạ bao gồm (n) bề mặt, mỗi bề mặt (j) phát ra dòng bức xạ hiệu dụng ($F_j \cdot J_j$) và dòng bức xạ

phát ra từ (j) giáng xuống (i) là $(F_j \cdot J_j \cdot \varphi_{ij})$ thì tổng năng lượng bức xạ tới trên bề mặt (i) được xác định như sau:

$$F_i \cdot E_{t,i} = F_i \cdot \sum_{j=1}^n \varphi_{ij} \cdot J_j \tag{4}$$

Thay (4) vào (2) và biến đổi, thu được công thức tính dòng bức xạ hiệu quả theo bức xạ hiệu dụng như sau:

$$Q_i = F_i \cdot \sum_{j=1}^n \varphi_{ij} \cdot (J_i - J_j) \tag{5}$$

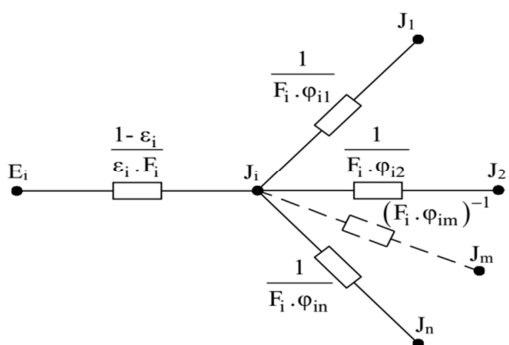
Ở đây, φ_{ij} là hệ số góc bức xạ từ bề mặt (i) đến bề mặt (j).

Sự tương tự của mô hình nhiệt và mô hình điện được thể hiện thông qua phương trình xác định dòng nhiệt bức xạ và phương trình định luật Ohm. Do đó, công thức (3) và (5) được viết dưới dạng sau:

$$Q_i = \frac{\sigma_o \cdot T_i^4 - J_i}{\frac{1 - \epsilon_i}{F_i \cdot \epsilon_i}} \tag{6}$$

$$Q_i = \sum_{j=1}^n \frac{J_i - J_j}{\frac{1}{F_i \cdot \varphi_{ij}}} \tag{7}$$

Công thức (6) và (7) thể hiện qua sơ đồ mạch điện thay thế và được trình bày trên hình 1 [4].



Hình 1. Sơ đồ mạch điện của phương pháp tương tự nhiệt - điện

Các điểm nút hay các thế dịch chuyển trong sơ đồ mạch điện chính là năng suất bức xạ (E_i) và các mật độ dòng bức xạ hiệu dụng (J_i).

Phương trình tính toán dạng (6) thể hiện dòng Q_i sinh ra do độ chênh thế ($\sigma_o \cdot T_i^4$) và (J_i), chuyển động qua nhiệt trở $\frac{1 - \epsilon_i}{F_i \cdot \epsilon_i}$. Nhiệt trở này gọi là nhiệt trở phản xạ.

Phương trình tính toán dạng (7) biểu thị sự phân dòng của một điểm nút có thế J_i với các nhiệt trở nhánh $\frac{1}{F_i \cdot \varphi_{ij}}$.

Các nhiệt trở này gọi là nhiệt trở hình học.

Nếu hệ gồm (n) thành phần trao đổi nhiệt bức xạ với nhau thì có thể viết (2n) phương trình dạng (6) và (7). Giải hệ phương trình này xác định được dòng nhiệt bức xạ hiệu dụng và hiệu quả của tất cả các bề mặt trao đổi nhiệt.

2.2. Xây dựng mô hình và kết quả nghiên cứu

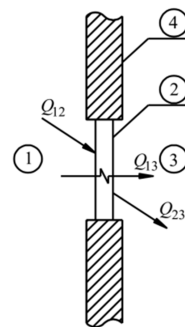
2.2.1. Các giả thiết khi xây dựng mô hình

Để xây dựng mô hình tính toán, cần có các giả thiết sau:

- Coi bức xạ ngoài trời chỉ là bức xạ trực xạ.
- Hệ số hấp thụ, hệ số phản xạ và hệ số xuyên qua không thay đổi theo góc tới của tia trực xạ.
- Bỏ qua ảnh hưởng của trao đổi nhiệt đối lưu giữa bề mặt kính với không gian bên ngoài và bên trong phòng.

2.2.2. Mô hình tính toán và kết quả nghiên cứu

Mặt trời bức xạ năng lượng qua lớp kính vào không gian được làm lạnh khiến cho nhiệt độ bên trong phòng tăng lên, gây tổn thất nhiệt trong các không gian này.



Hình 2. Mô hình hình học trao đổi nhiệt bức xạ giữa môi trường bên ngoài và bên trong qua lớp kính

1 - Bên ngoài nhà; 2 - Lớp kính; 3 - Bên trong nhà; 4 - Tường nhà

Như vậy, tham gia vào quá trình trao đổi nhiệt bức xạ ở đây có thể xem gồm ba thành phần: môi trường bên ngoài trời, cửa kính và môi trường bên trong phòng. Trên cơ sở phân tích quá trình trao đổi nhiệt bức xạ giữa môi trường ngoài trời với bề mặt ngoài của kính, giữa bề mặt trong của kính với môi trường trong phòng, giữa môi trường ngoài trời với môi trường trong phòng xuyên qua cửa kính ta thiết lập được phương trình xác định các dòng nhiệt trao đổi bức xạ.

Dòng nhiệt bức xạ từ môi trường ngoài trời đến bề mặt ngoài của kính:

$$Q_{1 \rightarrow 2} = E_{o1} F_1 \varphi_{12} (1 - \tau_2) \tag{a}$$

Trong đó, τ_2 là hệ số xuyên qua của kính

Dòng nhiệt phản xạ từ bề mặt ngoài của kính ra môi trường xung quanh:

$$Q_{2 \rightarrow 1} = J_2 F_2 \varphi_{21} \tag{b}$$

Theo [1]:

$$F_1 \varphi_{12} = F_2 \varphi_{21} \tag{c}$$

Từ (a), (b), (c) xác định được dòng nhiệt trao đổi bằng bức xạ giữa môi trường và bề mặt ngoài của kính:

$$Q_{12} = E_{o1} F_1 \varphi_{12} (1 - \tau_2) - J_2 F_2 \varphi_{21} = \frac{E_{o1} - \frac{J_2}{1 - \tau_2}}{1} = \frac{E_{o1} - \frac{J_2}{1 - \tau_2}}{R_1} = \frac{E_{o1} - \frac{J_2}{1 - \tau_2}}{F_1 \varphi_{12} (1 - \tau_2)} \tag{8}$$

Dòng nhiệt này bằng dòng bức xạ hiệu quả của bề mặt kính phía ngoài trời và được tính như sau:

$$Q_{12} = F_2 (A_2 E_{01} - \epsilon_2 E_{02}) \tag{d}$$

Năng suất bức xạ hiệu dụng của bề mặt kính phía ngoài trời:

$$J_2 = \epsilon_2 E_{02} + \rho_2 E_{01}. \text{ Suy ra: } E_{01} = \frac{J_2 - \epsilon_2 E_{02}}{\rho_2} \tag{e}$$

Ở đây, ρ_2 là hệ số phản xạ của bề mặt kính.

Để đơn giản, ta chấp nhận giả thiết $A_2 = \epsilon_2$. Khi đó, thế (e) vào (d) ta được:

$$Q_{12} = \frac{J_2 - E_{02}}{\frac{\rho_2}{\epsilon_2 F_2 (1 - \tau_2)}} = \frac{J_2 - E_{02}}{R_2} \tag{9}$$

Dòng nhiệt bức xạ hiệu quả của bề mặt kính phía trong phòng được tính như sau:

$$Q_{23} = F_2 (\epsilon_2 E_{02} - A_2 E_{03}) \tag{f}$$

Năng suất bức xạ hiệu dụng của bề mặt kính phía trong phòng:

$$J'_2 = \epsilon_2 E_{02} + \rho_2 E_{03} \text{ Suy ra: } E_{03} = \frac{J'_2 - \epsilon_2 E_{02}}{\rho_2} \tag{g}$$

Thế (g) vào (f) ta được dòng bức xạ hiệu quả của bề mặt kính phía trong phòng:

$$Q_{23} = \frac{E_{02} - \frac{J'_2}{1 - \tau_2}}{\frac{\rho_2}{\epsilon_2 F_2 (1 - \tau_2)}} = \frac{E_{02} - \frac{J'_2}{1 - \tau_2}}{R_3} \tag{10}$$

Dòng nhiệt bức xạ từ môi trường bên trong đến bề mặt kính:

$$Q_{3 \rightarrow 2} = E_{03} F_3 \varphi_{32} (1 - \tau_2) \tag{h}$$

Dòng nhiệt phản xạ từ bề mặt trong của kính tới môi trường trong phòng:

$$Q_{2 \rightarrow 3} = J'_2 F_2 \varphi_{23} \tag{k}$$

Từ (h), (k) ta có dòng nhiệt trao đổi bằng bức xạ giữa bề mặt kính và môi trường trong phòng:

$$Q_{23} = E_{03} F_3 \varphi_{32} (1 - \tau_2) - J'_2 F_2 \varphi_{23} = \frac{E_{03} - \frac{J'_2}{1 - \tau_2}}{1} = \frac{E_{03} - \frac{J'_2}{1 - \tau_2}}{F_3 \varphi_{32} (1 - \tau_2)} \tag{11}$$

Dòng nhiệt bức xạ từ môi trường ngoài trời xuyên qua lớp kính vào trong phòng:

$$Q_{1 \rightarrow 3} = E_{01} F_1 \varphi_{13} \tau_2 \tag{m}$$

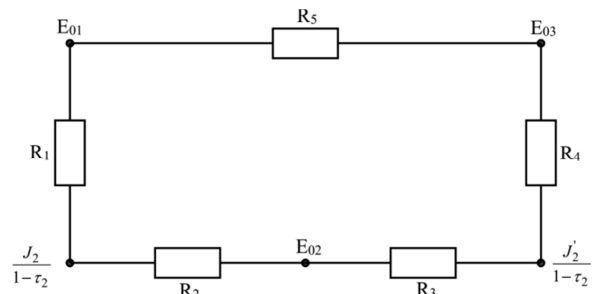
Dòng nhiệt bức xạ từ môi trường trong phòng xuyên qua lớp kính ra bên ngoài:

$$Q_{3 \rightarrow 1} = E_{03} F_3 \varphi_{31} \tau_2 \tag{n}$$

Từ (m), (n) suy ra dòng nhiệt trao đổi bức xạ giữa môi trường bên ngoài và bên trong là:

$$Q_{13} = E_{01} F_1 \varphi_{13} \tau_2 - E_{03} F_3 \varphi_{31} \tau_2 = \frac{E_{01} - E_{03}}{1} = \frac{E_{01} - E_{03}}{R_5} \tag{12}$$

Tập hợp các phương trình từ (8) ÷ (12) xây dựng được sơ đồ mạch điện biểu diễn quá trình trao đổi nhiệt bằng bức xạ giữa môi trường bên ngoài và bên trong qua lớp kính và được thể hiện ở hình 3.



Hình 3. Mô hình trao đổi nhiệt bức xạ giữa môi trường bên ngoài và bên trong qua lớp kính

Từ sơ đồ mạch điện hình 3, dòng nhiệt bức xạ từ môi trường bên ngoài xuyên qua kính vào trong phòng được xác định như sau:

$$Q_1 = \frac{E_{01} - E_{03}}{R_5} \tag{13}$$

Dòng nhiệt truyền vào trong phòng do bức xạ từ bề mặt kính:

$$Q_2 = \frac{E_{01} - E_{03}}{R_1 + R_2 + R_3 + R_4} \tag{14}$$

Từ (13), (14) ta có dòng nhiệt bức xạ từ môi trường bên ngoài vào trong phòng là:

$$Q_{bx} = \frac{E_{01} - E_{03}}{R_5 (R_1 + R_2 + R_3 + R_4)} \tag{15}$$

Sử dụng công thức (15), với các thông số của môi trường và thông số đặc trưng của kính: hệ số hấp thụ, hệ số phản xạ và hệ số xuyên qua ta có thể tính được dòng nhiệt bức xạ này. Chẳng hạn, tính nhiệt bức xạ mặt trời qua lớp kính và không gian điều hòa theo hướng tây tại thời điểm 15h00 vào tháng 6 ở vĩ độ 20^o bắc, nhiệt độ trong phòng 24^oC; hệ số hấp thụ, phản xạ và xuyên qua của kính lần lượt là 0,15; 0,08; 0,77. Mật độ dòng nhiệt truyền bằng bức xạ qua lớp kính tính được là 536,09W/m². Trong đó, từ công thức (13) và (14) xác định được mật độ dòng nhiệt truyền trực tiếp từ ngoài trời vào trong phòng là 488,43W/m² chiếm 91,12% tổng lượng nhiệt bức xạ vào trong phòng qua lớp kính; mật độ dòng nhiệt truyền vào phòng do bề mặt kính nhận nhiệt hấp thụ từ bên ngoài là 47,66W/m² chiếm 8,88% tổng lượng nhiệt bức xạ vào trong phòng qua

lớp kính. Từ kết quả tính toán nhận thấy, để hạn chế dòng nhiệt bức xạ qua lớp kính vào trong phòng cần chọn các loại kính có hệ số phản xạ lớn hay tráng một lớp màng phản xạ trên bề mặt ngoài của kính.

Độ chính xác của kết quả nghiên cứu cần được kiểm chứng bằng thực nghiệm. Tuy nhiên, công thức toán học xây dựng dựa trên việc thiết lập các phương trình cân bằng nhiệt của tất cả các thành phần tham gia quá trình truyền nhiệt bức xạ và dựa vào mô hình tương tự nhiệt điện đã được kiểm chứng về độ chính xác [7] thì có thể khẳng định rằng kết quả nghiên cứu là đáng tin cậy.

3. KẾT LUẬN

Đã xây dựng thành công công thức toán học xác định dòng nhiệt bức xạ của mặt trời qua lớp kính vào trong phòng trên cơ sở mô hình tương tự nhiệt điện. Đây là kết quả mới về khoa học, công thức toán học còn được sử dụng để tính toán bức xạ nhiệt giữa hai môi trường qua lớp vật liệu trong các thiết bị nhiệt công nghiệp.

Kết quả nghiên cứu còn xác định được tỷ lệ riêng phần lượng nhiệt bức xạ truyền trực tiếp vào phòng qua lớp kính và lượng nhiệt bức xạ truyền do bề mặt kính hấp thụ nhiệt. Kết quả này là cơ sở để lựa chọn vật liệu trong kết cấu xây dựng hay trong các thiết bị nhiệt công nghiệp.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Dang Quoc Phu, Tran The Son, Tran Van Phu, 2004. *Truyen nhiet*. Vietnam Education Publishing House.
- [2]. Ha Dang Trung, Nguyen Quan, 1997. *Co so ky thuat dieu tiet khong khi*. Science and Technics Publishing House, Hanoi.
- [3]. Nguyen Duc Loi, 2009. *Giao trinh thiet ke he thong dieu hoa khong khi*. Vietnam Education Publishing House.
- [4]. Holman J. P., 2010. *Heat Transfer*. Tenth Edition, McGraw - Hill, New York
- [5]. Jenkins B. G., Moles F. D., 1981. *Modelling of Heat Transfer from a Large Enclosed Flame in a Rotary Kiln*. Transactions of the Institution of Chemical Engineers, 59, pp. 17 - 25
- [6]. Kirsliis Steven J., 1989. *Heat Transfer Model and Computer Program for a Direct - Fired Rotary Kiln*. The University of Tennessee, Knoxville
- [7]. Oppenheim A. K., 1956. *Radiation Analysis by the Network Method*. ASME Trans
- [8]. Silcox Geoffrey D., et al., 1991. *Thermal Analysis of Rotary Kiln Incineration: Comparison of Theory and Experiment*. Combustion and Flame, 86, pp. 101 – 114
- [9]. Silcox Geoffrey D., Perching David W., 1990. *The Effects of Rotary Kiln Operating Conditions and Design on Burden Heating Rates as Determined by a Mathematical Model of Rotary Kiln Heat Transfer*. Journal of the Air and Waste Management Association 40, pp. 337 - 344
- [10]. Tomaz E., Filho R. Maciel, 1999. *Steady State Modeling and Numerical Simulation of the Rotary Kiln Incinerator and Afterburner System*. Computers and Chemical Engineering Supplement, 431 – 434.

AUTHOR INFORMATION

Nguyen Dang Khoat

University of Transport and Communications