



RESEARCH ON EVALUATING BOUNDARY CONDITIONS OF HEAT TRANSFER PROBLEM THROUGH ASPHALT PAVEMENT IN RED RIVER DELTA

Nguyen Manh Hung

University of Transport and Communications, No 3 Cau Giay Street, Hanoi, Vietnam.

ARTICLE INFO

TYPE: Research Article

Received: 17/2/2019

Revised: 15/8/2019

Accepted: 16/8/2019

Published online: 15/11/2019

<https://doi.org/10.25073/tcsj.70.2.36>

* *Corresponding author*

Email: nmhung@utc.edu.vn.

Abstract. In this paper, the analysis and evaluation of boundary conditions for the heat transfer problem through asphalt pavements for the whole Red river delta are conducted. The results are sinusoidal functions of boundary conditions with day time variable, synthesized from separate factors of temperature, humidity, temperature amplitude, amplitude of humidity, wind, total solar radiation ...

Keywords: temperature distribution, asphalt pavement, boundary conditions, Red river delta.

© 2019 University of Transport and Communications



NGHIÊN CỨU XÁC ĐỊNH ĐIỀU KIỆN BIÊN CHO BÀI TOÁN TRUYỀN NHIỆT QUA CÁC LỚP MẶT ĐƯỜNG NHỰA KHU VỰC ĐỒNG BẰNG BẮC BỘ

Nguyễn Mạnh Hùng

Trường Đại học Giao thông vận tải, số 3 Cầu Giấy, Hà Nội

THÔNG TIN BÀI BÁO

CHUYÊN MỤC: Công trình khoa học

Ngày nhận bài: 17/2/2019

Ngày nhận bài sửa: 15/8/2019

Ngày chấp nhận đăng: 16/8/2019

Ngày xuất bản Online: 15/11/2019

<https://doi.org/10.25073/tcsj.70.2.36>

* Tác giả liên hệ

Email: nmhung@utc.edu.vn.

Tóm tắt. Bài báo tiến hành nghiên cứu phân tích, đánh giá và xây dựng điều kiện biên cho bài toán truyền nhiệt qua các lớp mặt đường nhựa chung cho cả khu vực Đồng bằng Bắc bộ. Bằng cách xử lý tổng hợp các đại lượng riêng biệt gồm nhiệt độ, độ ẩm, biên độ nhiệt độ và độ ẩm, gió, tổng xạ mặt trời, ... thu được các hàm mô tả điều kiện biên ở dạng hình sin với biến số là thời gian trong ngày ứng với các giá trị hệ số hấp thụ của bề mặt đường khác nhau.

Từ khóa: phân bố nhiệt độ, mặt đường nhựa, điều kiện biên, đồng bằng Bắc bộ.

© 2019 Trường Đại học Giao thông vận tải

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Hiện nay tại Việt Nam và trên thế giới, các bài toán truyền nhiệt trong kết cấu xây dựng nói chung và trong ngành cầu đường nói riêng thường được giải quyết bằng phương pháp số. Kết quả thu được của nhiều công trình nghiên cứu đã được ứng dụng vào trong các trường hợp thực tế. Tuy vậy, như đã biết, vẫn còn một tồn tại khi sử dụng phương pháp số là chưa có những kết quả nghiên cứu mang tính chất tổng thể hơn vì chưa có những lời giải hoặc nghiệm giải tích cho bài toán. Nghiệm giải tích của bài toán truyền nhiệt thường giúp cho việc nghiên cứu, đánh giá các vấn đề nhiệt được thuận lợi và nhanh chóng hơn. Dù vậy, có một điểm khá khó khăn đó là ĐKB của bài toán phụ thuộc vào các điều kiện khí hậu nơi đặt “vật truyền nhiệt” đồng nghĩa với việc ĐKB là hàm thời gian (phi tuyến). Như vậy, việc sử dụng các công cụ

truyền nhiệt trong dẫn nhiệt như phương pháp phân ly biến số ... sẽ không áp dụng được [1], [2]. Bên cạnh đó, để tìm được nghiệm giải tích của bài toán truyền nhiệt thì buộc phải có điều kiện biên (ĐKB) dưới dạng giải tích.

Khu vực đồng bằng Bắc bộ bao gồm 10 tỉnh thành: Bắc Ninh, Hà Nam, Hải Dương, Tp. Hải phòng, Hưng Yên, Nam Định, Thái Bình, Vĩnh Phúc, Ninh Bình và Tp. Hà nội. Đây là nơi có mật độ đường nói chung và đường nhựa nói riêng là khá lớn. Về các thông số khí hậu thì theo [3] có sự khác nhau giữa các đại lượng đặc trưng như nhiệt độ và độ ẩm trung bình tháng, biên độ nhiệt độ và độ ẩm trong ngày, vận tốc gió, tổng xạ mặt trời ... Tất cả các thông số có trong [3] đều ở dạng giá trị bằng số, có một số thông số được công bố theo giờ trong ngày. Mặc dù đã các thông số nhiệt độ, độ ẩm, bức xạ ... đã được khẳng định là hàm sin (với biến số là thời gian trong ngày) [8], [9], [10] nhưng vẫn cần phải xây dựng được hàm cụ thể để phục vụ bài toán truyền nhiệt qua mặt đường vốn là bài toán truyền nhiệt không ổn định. Ngoài ra, đến nay chưa có công trình nào công bố kết quả nghiên cứu về ĐKB chung cho cả khu vực đồng bằng Bắc bộ phục vụ việc nghiên cứu các vấn đề về nhiệt trong mặt đường nhựa tại đây. Kết quả nghiên cứu trong [6] mới chỉ là ĐKB cho một trạm khí hậu đặt tại một tỉnh.

Bài báo này tập trung vào nghiên cứu xác định ĐKB chung cho bài toán truyền nhiệt qua các lớp vật liệu mặt đường khu vực đồng bằng Bắc bộ. Từ ĐKB này có thể tiến hành xác định nghiệm giải tích của bài toán và tiến tới các nghiên cứu, đánh giá các vấn đề liên quan đến nhiệt (như phân bố nhiệt độ, gradient nhiệt độ, sóng nhiệt, giãn nở, ứng suất nhiệt,) [4], [5] trong các lớp mặt đường được nhanh chóng, đầy đủ hơn.

2. ĐỐI TƯỢNG VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Đối tượng nghiên cứu và phương pháp nghiên cứu

Đối tượng nghiên cứu ở đây là các thông số khí hậu của khu vực Đồng bằng Bắc bộ, phương pháp nghiên cứu được sử dụng là phương pháp lý thuyết.

Đầu tiên, đặc điểm và thông số khí hậu trong QCVN của 10 địa phương thuộc khu vực Đồng bằng Bắc bộ sẽ được đưa vào phân tích, đánh giá và lựa chọn. Tiếp đó, dựa trên các bước xác định điều kiện biên đã được sử dụng trong [7] sẽ xây dựng được hàm mô tả phương trình ĐKB cho cả khu vực.

2.2. Mô hình toán học bài toán truyền nhiệt qua mặt đường nhựa

Truyền nhiệt qua mặt đường nhựa ở đây là bài toán nửa vô hạn. Xét bài toán dẫn nhiệt không ổn định ba chiều trong một khu vực nửa vô hạn, nhiều lớp R với ĐKB phụ thuộc thời gian như sau:

$$\nabla^2 t(r, \tau) = \frac{1}{a} \cdot \frac{\partial t(r, \tau)}{\partial \tau} \text{ trong khu vực } R, \tau > 0 \quad (1)$$

$$\lambda_i \cdot \frac{\partial t}{\partial n_i} + \alpha_i t = f_i(r, \tau) \text{ trên biên } S_i \quad (2)$$

$$\lambda_i \cdot \frac{\partial t}{\partial n_i} = \lambda_j \cdot \frac{\partial t}{\partial n_j}, \quad t_i = t_j \text{ trên mặt tiếp xúc giữa các lớp } i, j \quad (3)$$

$$\frac{\partial t}{\partial n_i} \rightarrow 0 \text{ khi } r \rightarrow +\infty \quad (4)$$

$$t(r, \tau) = F(r) \text{ khi } \tau = 0 \text{ trong khu vực } R \quad (5)$$

với: t – nhiệt độ, $^{\circ}C$; r – tọa độ, m ; τ – thời gian, *giây*; λ_i - hệ số dẫn nhiệt của vật liệu, là hàm số của nhiệt độ và độ ẩm vật liệu, ở đây được giả thiết bằng hằng số, $W/(m \cdot \text{độ})$; a – hệ số dẫn nhiệt độ được giả thiết bằng hằng số, m^2/s ; i – số thứ tự của các mặt biên; $\partial / \partial n_i$ - tích phân theo phương pháp tuyến của mặt biên S_i ; α - hệ số trao đổi nhiệt đối lưu, $W/(m^2 \cdot \text{độ})$; $f_i(r, \tau)$ – hàm phụ thuộc tọa độ và thời gian; $F(r)$ – hàm phân bố nhiệt độ ban đầu trong vật liệu. Bằng cách cho $\lambda_i = 0$ ta thu được ĐKB loại 1 và bằng cách cho $\alpha_i = 0$ ta thu được ĐKB loại 2.

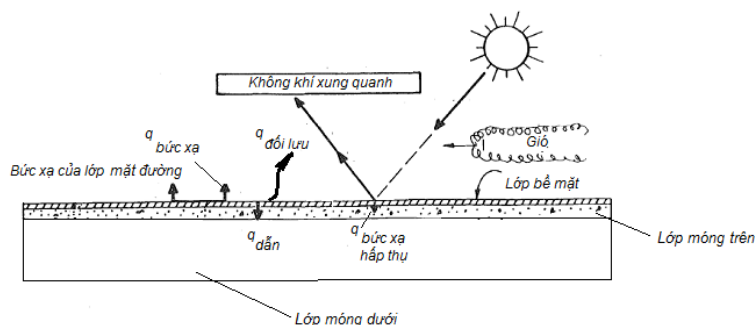
2.3. Cân bằng nhiệt tại bề mặt đường nhựa

Hình 1 thể hiện cân bằng nhiệt tại bề mặt trên của mặt đường. Phương trình cân bằng các dòng nhiệt tại bề mặt đường có thể viết thành [7]:

$$q_{\text{bxt}} - q_{\text{dl}} - q_{\text{bx}} - q_{\text{d}} = 0 \quad (6)$$

trong đó: q_{bxt} – mật độ dòng nhiệt bức xạ mặt trời bị hấp thụ bởi bề mặt đường, W/m^2 (chính là $q_{\text{bức xạ hấp thụ}}$ trên hình 1); q_{dl} – mật độ dòng nhiệt do trao đổi nhiệt đối lưu giữa bề mặt đường và không khí xung quanh, W/m^2 (chính là $q_{\text{đối lưu}}$ trên hình 1); q_{bx} – mật độ dòng nhiệt do trao đổi nhiệt bức xạ giữa bề mặt đường và không khí xung quanh, W/m^2 (chính là $q_{\text{bức xạ}}$ trên hình 1); q_{d} – mật độ dòng nhiệt do dẫn nhiệt lớp bề mặt đường và lớp vật liệu phía dưới, W/m^2 (chính là $q_{\text{dẫn}}$ trên hình 1).

Tùy thuộc vào độ chênh lệch giữa nhiệt độ bề mặt và nhiệt độ có liên quan như nhiệt độ hiệu quả của bầu trời (xem mục 2.5), nhiệt độ không khí, cũng như gradient nhiệt độ trong vật liệu mà các q_i trong phương trình (6) có trị số âm hoặc dương nhưng cân bằng (6) luôn xảy ra. Tại thời điểm ban đêm, $q_{\text{bxt}} = 0$.



Hình 1. Cân bằng nhiệt tại bề mặt trên mặt đường nhựa

Để xác định được ĐKB của bài toán, cần phải tiến hành thực hiện các bước sau [6], [7]:
 1. Hàm hóa nhiệt độ, độ ẩm không khí trong ngày ứng với tháng nóng nhất trong năm; 2. Xác

định hệ số trao đổi nhiệt bức xạ; 3. Xác định hệ số trao đổi nhiệt đối lưu; 4. Xác định tổng xạ trên mặt bằng; 5. Xác định hệ số trao đổi nhiệt đối lưu tương đương.

Dưới đây trình bày chi tiết hơn một số công thức sử dụng trong các nội dung kể trên [7].

a. Mật độ dòng nhiệt bức xạ

Đây là mật độ dòng nhiệt tạo bởi ánh sáng có bước sóng dài từ bề mặt đường ra không khí xung quanh khi nhiệt độ bề mặt cao hơn nhiệt độ không khí xung quanh. Mật độ dòng nhiệt bức xạ q_{bx} , W/m^2 này được tính theo công thức:

$$q_{bx} = 5,67 \cdot 10^{-8} \cdot \epsilon_{bm} \cdot \{ [T_{bm}(\tau)]^4 - [T_{bt}(\tau)]^4 \} \quad (7)$$

trong đó $T_{bm}(\tau)$ là nhiệt độ bề mặt, thay đổi theo thời gian, K ; T_{bt} – nhiệt độ hiệu quả bầu trời thay đổi theo thời gian trong ngày, K ; ϵ_{bm} - hệ số hấp thụ bề mặt đường.

Nhiệt độ hiệu quả bầu trời $T_{bt}(\tau)$, được tính theo công thức (Walton 1985):

$$T_{bt}(\tau) = [\epsilon_{bt}(\tau)]^{0,25} \cdot T_{kk}(\tau) \quad (8)$$

trong đó $T_{kk}(\tau) = t_{kk}(\tau) + 273$ là nhiệt độ không khí thay đổi theo thời gian trong ngày, K ; $\epsilon_{bt}(\tau)$ là hệ số hấp thụ của bầu trời, xác định theo công thức:

$$\epsilon_{bt}(\tau) = 0,787 + 0,764 \cdot \ln \left(\frac{273 + t_s(\tau)}{273} \right) \cdot F_{mây} \quad (9)$$

trong đó $t_s(\tau)$ là nhiệt độ điểm sương của không khí tại nơi đặt vật liệu, thay đổi theo thời gian; $F_{mây}$ là hệ số mây che phủ được tính theo công thức:

$$F_{mây} = 1,0 + 0,024 \cdot N - 0,0035N^2 + 0,00028 \cdot N^3 \quad (10)$$

trong đó N là mức độ mây che phủ, có giá trị từ 0 đến 1.

Nhiệt độ điểm sương được tính theo công thức:

$$t_s(\tau) = 237,7 \cdot \gamma [t_{kk}(\tau), \varphi] / \{ 17,3 - \gamma [t_{kk}(\tau), \varphi] \} \quad (11)$$

trong đó: $\gamma [t_{kk}(\tau), \varphi] = 17,3 \cdot t_{kk}(\tau) / [237,7 + t_{kk}(\tau)] + \ln [\varphi(\tau) / 100]$ (12)

Theo [2], nếu $|T_{bm} - T_{bt}| / T_{bt} \ll 1$ thì q_{bx} được tính theo hệ số trao đổi nhiệt bức xạ tương đương:

$$q_{bx} = \alpha_{bx} \cdot [t_{bm}(\tau) - t_{bt}(\tau)] \quad (13)$$

Trong đó: $\alpha_{bx} = 4,5,67 \cdot 10^{-8} \cdot \epsilon_{bt}(\tau) \cdot [T_{bt}(\tau)]^3$ (14)

Điều này tương đương với việc sự thay đổi của nhiệt độ bề mặt ảnh hưởng ít đến hệ số trao đổi nhiệt bức xạ α_{bx} tính theo công thức (14).

b. Mật độ dòng nhiệt do trao đổi nhiệt đối lưu

Mật độ dòng nhiệt do trao đổi nhiệt đối lưu q_{dl} , W/m^2 được xác định theo công thức:

$$q_{dl} = \alpha_{dl} \cdot [t_{bm}(\tau) - t_{kk}(\tau)] \quad (15)$$

trong đó α_{dl} là hệ số trao đổi nhiệt đối lưu giữa bề mặt đường với không khí.

c. Mật độ dòng nhiệt bức xạ hấp thụ

Theo [7], mật độ dòng nhiệt này được tính theo công thức:

$$q_{bxht} = \varepsilon_{bm} \cdot I(\tau), \text{ W/m}^2 \quad (16)$$

trong đó $I(\tau)$ là tổng xạ trên mặt đường giả thiết là mặt nằm ngang, thay đổi theo thời gian trong ngày tại một trạm khí tượng.

3. KẾT QUẢ

3.1. Các thông số khí hậu

Dựa vào Quy chuẩn xây dựng Việt Nam – Số liệu điều kiện tự nhiên dùng trong xây dựng [3], thu được bảng 1 gồm các thông số đặc trưng có liên quan đến vấn đề cần nghiên cứu ở đây. Các thông số này bao gồm tháng nóng nhất, nhiệt độ không khí trung bình tháng, biên độ ngày nhiệt độ không khí trung bình tháng và năm, độ ẩm tương đối không khí trung bình tháng và năm, vận tốc gió trung bình tháng và năm, lượng mây tổng quan, biên trình nhiệt độ và độ ẩm không khí trong ngày, tổng xạ trên mặt bằng.

Trong số các địa phương thuộc khu vực đồng bằng Bắc bộ, có Bắc Ninh, Vĩnh Phúc và Hà Nam là không có thông số khí hậu [3]. Do đó, ở đây dữ liệu khí hậu của trạm Vĩnh Yên được sử dụng cho tỉnh Vĩnh Phúc. Tương tự là thông số của Bắc Giang sẽ được sử dụng thay cho Bắc Ninh.

Do trong [3] không có biến trình độ ẩm trong ngày của các địa phương trừ Hà nội, trong bài báo này sử dụng biến trình độ ẩm của cả khu vực trong ngày theo dữ liệu của Hà nội.

Căn cứ bảng 1, nhận thấy rằng:

- Tất cả các địa phương trong khu vực đồng bằng Bắc bộ đều có tháng nóng nhất trong năm là tháng 7.

- Nhiệt độ không khí trung bình tháng (nóng nhất) của các địa phương trong khu vực dao động từ 28,4 đến 29,3 °C. Do đó ở đây lựa chọn nhiệt độ trung bình tháng nóng nhất của cả khu vực là 29,3 °C để đảm bảo tính đại diện cho tính khắc nghiệt của bài toán truyền nhiệt.

- Tương tự, biên độ ngày nhiệt độ trung bình tháng và năm dao động từ 5,8 đến 6,9 °C, do đó, trị số 6,9 °C được lựa chọn.

- Để lựa chọn thông số độ ẩm tương đối trung bình tháng và năm từ các thông số tương ứng của các địa phương làm thông số đại diện cho cả khu vực, cần thiết phải đánh giá sự ảnh hưởng của độ ẩm đến các đại lượng đã nêu trong mục 2.5.

Theo đó, căn cứ công thức (14) thấy rằng, khi $\varepsilon_{bt}(\tau)$ và $T_{bt}(\tau)$ giảm thì hệ số trao đổi nhiệt bức xạ từ bề mặt đường ra không khí xung quanh α_{bx} giảm theo, tương đương với việc nhiệt

độ bề mặt đường có nguy cơ tăng. Sử dụng các công thức (8) đến (12) để đánh giá ảnh hưởng của độ ẩm không khí đến $\varepsilon_{bt}(\tau)$ và $T_{bt}(\tau)$, thấy rằng, ở cùng nhiệt độ không khí và mức độ mây che phủ, khi độ ẩm không khí giảm thì $\varepsilon_{bt}(\tau)$ và $T_{bt}(\tau)$ giảm.

Do đó, độ ẩm tương đối không khí trung bình tháng là 81,3 % được lựa chọn.

Bảng 1. Các thông số cần thiết của các địa phương trong khu vực đồng bằng Bắc bộ phục vụ cho bài toán [3].

STT	Địa phương	Tháng nóng nhất trong năm	Các thông số đã có					Các thông số khác		
			Nhiệt độ không khí trung bình tháng, °C	Biên độ ngày nhiệt độ không khí trung bình tháng và năm, °C	Độ ẩm tương đối không khí trung bình tháng và năm, %	Vận tốc gió trung bình tháng và năm, m/s	Lượng mây tổng quan	Biến trình nhiệt độ ngày, °C	Biến trình ngày độ ẩm không khí, %	Tổng xạ trên mặt bằng, W/m ² /ngày
1	Bắc Ninh	7	29,0	6,4	82,4	2,2	0,77	-	-	-
2	Hải Dương	7	29,2	5,8	83,6	2,6	0,76	-	-	-
3	Tp. Hải Phòng	7	28,4	6,2	85,8	3,3	0,82	-	-	5546
4	Hưng Yên	7	29,0	6,4	84,0	1,6	0,72	-	-	-
5	Nam Định	7	29,3	6,2	81,9	2,4	0,78	-	-	-
6	Thái Bình	7	29,2	5,9	82,4	2,4	0,74	-	-	-
7	Vĩnh Phúc	7	29,2	6,9	81,3	1,8	0,76	-	-	-
8	Ninh Bình	7	29,3	6,3	81,6	2,0	0,76	-	-	-
9	Tp. Hà Nội	7	29,2	6,8	81,6	1,8	0,80	Có	Có	6299
	Trung bình		29,09	6,32	82,7	2,23	0,767	-	-	-

Ghi chú: Trong bảng 1, những chỗ gạch ngang (-) ứng với trường hợp không có số liệu trong [3].

- Về vận tốc gió trung bình tháng và năm, nhận thấy rằng, trong bài toán trao đổi nhiệt đối lưu [1], khi vận tốc gió giảm, nhiệt thoát khỏi bề mặt đường do trao đổi nhiệt đối lưu giảm, dẫn đến nguy cơ tăng nhiệt độ bề mặt. Do đó, tốc độ hay vận tốc gió trung bình tháng và năm được lựa chọn ở đây là 1,6 m/s - ứng với thông số vận tốc gió của tỉnh Hưng Yên.

- Lượng mây tổng quan trong khu vực thay đổi từ 0,72 đến 0,82. Căn cứ công thức (9) và (10), trị số 0,72 sẽ được lựa chọn do nó đem lại giá trị $F_{mây}$ thấp và dẫn đến $\varepsilon_{bt}(\tau)$ thấp.

- Về biến trình nhiệt độ không khí trong ngày thì trong [3] chỉ có thông số cho khu vực Hà nội, do đó, ở đây sử dụng quy luật biến thiên nhiệt độ của không khí trong ngày của Hà nội [3], theo đó nhiệt độ thấp nhất trong ngày là vào lúc 5 giờ sáng và cao nhất trong ngày là vào lúc 15 giờ chiều.

- Tương tự với biến trình độ ẩm không khí trong ngày thì trong [3] cũng chỉ có cho khu vực Hà nội, do đó ở đây sử dụng quy luật biến thiên độ ẩm không khí trong ngày của Hà nội [3], theo đó, độ ẩm không khí cao nhất vào lúc 5 giờ sáng và thấp nhất vào lúc 15 giờ chiều. Biên độ dao động độ ẩm không khí trong ngày được sử dụng ở đây là 12% [3].

- Về tổng xạ trên mặt bằng, trong [3] chỉ có số liệu cho khu vực Hà nội và Hải phòng. Để đảm bảo tính đại diện, số liệu của Hà nội sẽ được sử dụng.

3.2. Kết quả hàm hóa nhiệt độ và độ ẩm

Bảng 2 là kết quả hàm hóa nhiệt độ, độ ẩm của không khí trong ngày ở dạng hình sin [8], [9], [10]:

- với nhiệt độ không khí: $t_{kk}(\tau) = t_{kk, tb} + A \cdot \sin[\pi(\tau - \tau_c)/w]$ (19a)

$t_{kk, tb}$ – nhiệt độ trung bình ngày; A , τ_c , w – các đại lượng đặc trưng của hàm dao động.

- với độ ẩm không khí: $\varphi_{kk}(\tau) = \varphi_{kk, tb} + A_\varphi \cdot \sin[\pi(\tau - \tau_{c, \varphi})/w_\varphi]$ (19b)

$\varphi_{kk, tb}$ – độ ẩm không trung bình ngày; A_φ , $\tau_{c, \varphi}$, w_φ – các đại lượng đặc trưng của hàm dao động.

Bảng 2. Kết quả hàm hóa nhiệt độ, độ ẩm không khí trong ngày (theo giờ).

Hàm nhiệt độ không khí (19a)	τ_c	w	A	$t_{kk, tb}$
$t_{kk}(\tau)$, °C	9	12	3,3	29,3
Hàm độ ẩm không khí (19b)	$\tau_{c, \varphi}$	w_φ	A_φ	$\varphi_{kk, tb}$
$\varphi_{kk}(\tau)$, %	9	12	12	81,3

3.3. Kết quả xác định hệ số trao đổi nhiệt bức xạ

Tiến hành các bước đã nêu trong mục 2.5, thu được kết quả như ở bảng 3.

Bảng 3. Kết quả tính toán hệ số α_{bx} theo công thức (13).

TT	N	$F_{mây}$	ε_{bt} min	ε_{bt} max	t_{bt} min	t_{bt} max	$ T_{bm} - T_{bt} /T_{bt}$ max	α_{bx} min	α_{bx} max	α_{bx} tb
1	0,72	1,0155	0,842	0,871	13,39	22,26	0,163	4,483	5,086	4,80

Theo bảng 3, hệ số hấp thụ của bầu trời ε_{bt} trong tháng nóng nhất nằm trong phạm vi 0,842 đến 0,871. Ta sử dụng trị số trung bình 0,856 và coi là không đổi trong tháng nóng nhất.

Theo tính toán, trong một ngày điển hình, khi giả thiết nhiệt độ bề mặt ở các giá trị khác nhau thì tỉ số $|T_{bm} - T_{bt}|/T_{bt}$ lớn nhất là 0,163 (xem bảng 3), từ đó có thể chấp nhận được mối quan hệ $|T_{bm} - T_{bt}|/T_{bt} \ll 1$ và từ đó sử dụng được công thức (13), (14).

Kết quả xác định giá trị α_{bx} nhỏ nhất, lớn nhất và trung bình trong tháng nóng nhất được nêu trong bảng 3. Độ chênh lệch lớn nhất giữa α_{bx} min và max lớn nhất là 13,4%. Do vậy, có thể coi α_{bx} tính theo (14) là hằng số và bằng giá trị trung bình - 4,80 W/(m².K).

3.4. Mật độ dòng nhiệt do trao đổi nhiệt đối lưu

Hệ số trao đổi nhiệt đối lưu α_{dl} phụ thuộc vào chính nhiệt độ không khí và nhiệt độ bề mặt nằm ngang [1] và thường ở dạng quan hệ phi tuyến. Do đó, đã có nhiều tác giả nghiên cứu, giải quyết vấn đề này bằng các công thức thực nghiệm [11].

Trong bài báo này, chúng tôi sử dụng một công thức tính nhanh được nhiều nhà nghiên cứu sử dụng [11]:

$$\alpha_{dl} = 5,7 + 0,38 \cdot v, v \leq 5 \text{ m/s} \quad (20)$$

trong đó v là tốc độ gió tại bề mặt đường, m/s.

Trong các bài toán truyền nhiệt ở các điều kiện tới hạn hoặc khắc nghiệt, ví dụ như ngày nóng nhất trong tháng, gió lặng thì $v = 0$ và khi đó hệ số trao đổi nhiệt đối lưu có giá trị bằng $5,7 W/(m^2 \cdot độ)$ và bằng hằng số. Đây chính là trường hợp trao đổi nhiệt đối lưu tự nhiên với việc nguyên nhân của dòng đối lưu là do chênh lệch mật độ giữa các lớp không khí.

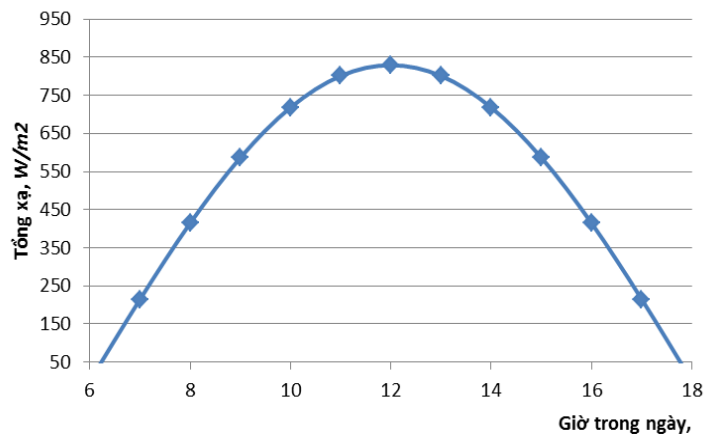
Với tốc độ không khí đã chọn ở mục 3.1 là $1,6 m/s$, xác định được:

$$\alpha_{dl} = 5,7 + 0,38 \cdot 1,6 = 6,31 W/(m^2 \cdot K)$$

3.5. Mật độ dòng nhiệt bức xạ hấp thụ được của bề mặt

Theo phân tích ở mục 3.1, số liệu để tính toán ở đây là số liệu của Hà nội. Nếu sử dụng số liệu tổng xạ trên mặt bằng, tán xạ trên mặt bằng (bảng 2.18 và 2.19 [3]) thì chỉ có giá trị trung bình tổng và đương nhiên là không có số liệu theo giờ. Ở Việt Nam, các tác giả trong công trình [12] đã tiến hành nghiên cứu xây dựng chương trình tính toán bức xạ mặt trời theo giờ từ số liệu bức xạ mặt trời trung bình tháng.

Cách tính toán ở đây như sau: từ số liệu trung bình của tổng xạ, tán xạ ứng với tháng nóng nhất trong năm (bảng 2.18 và bảng 2.19 [3]) cùng với quy luật thay đổi của trực xạ và tán xạ trong ngày theo hàm lượng giác [9], [10] tức có dạng giống như công thức (19) - trong đó tổng xạ đạt giá trị lớn nhất vào lúc 12 giờ trưa, xây dựng được các hàm của trực xạ, tán xạ và cuối cùng là tổng xạ theo thời gian trong ngày.



Hình 2. Sự thay đổi tổng xạ theo giờ trong tháng nóng nhất.

Bảng 4. Kết quả hàm hóa tổng xạ trong ngày (theo giờ).

τ_{cI}	w_I	A_I	I_{tb}
6	12	829.27	0

Theo [9], [10], thời điểm trị số trực xạ và tán xạ bắt đầu lớn hơn 0 (buổi sáng) cũng như trở về giá trị 0 (chiều tối) trong một ngày là không trùng nhau, đồng thời. Tuy vậy, để thuận lợi cho việc tính toán, ở đây giả thiết thời điểm trực xạ, tán xạ cùng xuất hiện bằng 0 và trở về 0 trong ngày là 6 giờ và 18 giờ.

Bảng 4 là kết quả hàm hóa tổng xạ trong ngày theo giờ (theo dạng hàm sin giống như công thức (19) và hình 2 thể hiện sự thay đổi đó.

3.6. Kết luận về điều kiện biên

Như vậy, phương trình (2) trên biên là bề mặt đường được viết thành:

$$\varepsilon_{bm} \cdot I(\tau) - \alpha_{dl} \cdot [t_{bm}(\tau) - t_{kk}(\tau)] - \alpha_{bx} \cdot [t_{bm}(\tau) - t_{bt}(\tau)] - \lambda \cdot \frac{\partial t}{\partial n_i} = 0 \quad (21a)$$

hay tương đương với cách viết theo (2): $\lambda \cdot \frac{\partial t}{\partial n_i} + \alpha_{td} \cdot t_{bm}(\tau) = f(r, \tau) \quad (21b)$

với giá trị hệ số trao đổi nhiệt tương đương $\alpha_{td} = \alpha_{dl} + \alpha_{bx} = 6,31 + 4,80 = 11,11 \text{ W}/(m^2K)$ và $f(r, \tau) = \alpha_{dl} \cdot t_{kk}(\tau) + \alpha_{bx} \cdot t_{bt}(\tau) + \varepsilon_{bm} I(\tau)$.

Hệ số trao đổi nhiệt tương đương α_{td} ở đây thu được là một giá trị không đổi, do đó theo [2], hoàn toàn có thể sử dụng các kỹ thuật như tách biến, Duhamel, Green, Laplace, trực giao ... để tìm được nghiệm giải tích của bài toán tìm phân bố nhiệt độ trong các lớp mặt đường.

Để thuận lợi hơn nữa cho các nghiên cứu tiếp theo, ở đây tổng hợp kết quả nghiên cứu, phương trình ĐKB (2) tại mặt trên lớp mặt đường cho khu vực Đồng bằng Bắc Bộ ứng với các giá trị hệ số hấp thụ (HSHT) bề mặt được viết ở dạng:

$$\lambda \cdot \frac{\partial t}{\partial n_i} + \alpha_{td} \cdot t_{bm}(\tau) = \begin{cases} y_{01} + A_1 \cdot \sin[\pi(\tau - \tau_{c1}) / w_1] & \text{khi } 6h \leq \tau \leq 18h \\ y_{02} + A_2 \cdot \sin[\pi(\tau - \tau_{c2}) / w_2] & \text{khi } 18h < \tau \leq 24h \text{ hay } 0h < \tau < 6h \end{cases} \quad (22)$$

trong đó giá trị các đại lượng y_{0i} , A_i , τ_{ci} , w_i trong phương trình (22) được nêu ở bảng 4.

Bảng 5. Kết quả hàm hóa về phải phương trình ĐKB (22) ứng với các giá trị HSHT bề mặt đường khác nhau.

TT	HSHT bề mặt	Khoảng thời gian	τ_c	w	A	y_0	R^2
1	0,5	6h ≤ τ ≤ 18h	6,25187	12,0056	445,6777	269,885	0,99999
2	0,6		6,21262	12,0042	528,4139	269,9227	0,99999
3	0,7		6,18395	12,00327	611,1999	269,9524	0,99999
4	0,8		6,1621	12,00263	694,0186	269,9763	0,99999
5	0,9		6,14489	12,00216	776,8599	269,9957	0,99999
6	Các giá trị HSHT	18h < τ < 6 h hôm sau	-14,784	11,93841	41,83256	269,9539	0,99999

4. KẾT LUẬN

Trên cơ sở các thông số khí hậu nêu trong Quy chuẩn xây dựng Việt Nam – Số liệu điều kiện tự nhiên dùng trong xây dựng, bài báo đã tiến hành phân tích, lựa chọn các thông số nhiệt độ, độ ẩm, biên độ nhiệt độ và độ ẩm, tốc độ gió, tổng xạ mặt trời... đặc trưng cho cả khu vực Đồng bằng Bắc Bộ. Từ đó xác định được các hàm toán học mô tả nhiệt độ, độ ẩm, bức xạ mặt trời, xác định được hệ số trao đổi nhiệt đối lưu, hệ số trao đổi nhiệt bức xạ tương đương, hệ số trao đổi nhiệt tương đương tổng và cuối cùng là xây dựng được hàm toán học mô tả phương trình ĐKB trong mô hình bài toán truyền nhiệt không ổn định qua các lớp mặt đường tại khu vực Đồng bằng Bắc Bộ.

Kết quả nghiên cứu cũng khẳng định hệ số trao đổi nhiệt đối lưu tương đương là hằng số và từ đó hoàn toàn có thể áp dụng được các phương pháp truyền thống để tìm được nghiệm giải tích của bài toán truyền nhiệt qua các lớp mặt đường chung cho khu vực Đồng bằng Bắc Bộ.

Kết quả thu được của bài toán là tiền đề để tiến hành nghiên cứu tiếp theo có liên quan đến trường nhiệt độ cũng như các vấn đề về nhiệt khác trong các lớp mặt đường bê tông nhựa trong cả khu vực Đồng bằng Bắc Bộ.

Lời cảm ơn: Bài báo là một phần sản phẩm của Đề tài nghiên cứu khoa học cấp trường “Nghiên cứu xây dựng mô hình dự báo trường nhiệt độ áo đường bê tông nhựa trên đường ô tô khu vực Đồng bằng Bắc bộ bằng phương pháp giải tích”, mã số T2019-CK-010. Xin trân trọng gửi lời cảm ơn đến Trường Đại học Giao thông Vận tải đã tạo điều kiện để tác giả có thể hoàn thành bài báo này cũng như đề tài nghiên cứu khoa học kể trên.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Đặng Quốc Phú, Trần Thế Sơn, Trần Văn Phú: Truyền nhiệt, Nhà xuất bản Giáo dục, Hà nội, 2001.
- [2]. M. Ozisik: Heat conduction. John Wiley & Sons Inc, 1993.
- [3]. QCXDVN 02:2008/BXD: Quy chuẩn xây dựng Việt Nam – Số liệu điều kiện tự nhiên dùng trong xây dựng (phần 1). Hà Nội, 2008.
- [4]. Trịnh Văn Quang, Nguyễn Mạnh Hùng, Nghiên cứu ảnh hưởng của bề dày lớp bê tông nhựa đến các đặc tính nhiệt bên trong các lớp mặt cầu bê tông, Tạp chí Khoa học Giao thông Vận tải, 9 (2004).
- [5]. Vũ Duy Trường, Xác định sự phân bố nhiệt độ trong lớp bê tông nhựa mặt đường khi nhiệt độ bề mặt thay đổi, Tạp chí Khoa học và Công nghệ nhiệt, 7 (2001) 60.
- [6]. Nguyễn Mạnh Hùng, Nghiên cứu xác định điều kiện biên cho bài toán truyền nhiệt qua các lớp mặt cầu bê tông xi măng tại Việt Nam, Tạp chí Khoa học Giao thông Vận tải, 58 (2017) 25-33.
- [7]. Y. Qin, J. E. Hiller, Modeling the Temperature and Stress Distribution in Rigid Pavements: Impact of Solar Radiation Absorption and Heat History Development, KSCE Journal of Civil Engineering, 15 (2011)1361-1371. <https://doi.org/10.1007/s12205-011-1322-6>
- [8]. Trịnh Văn Quang, Kỹ thuật nhiệt, Nhà xuất bản Khoa học Kỹ thuật, Hà nội, 2007.
- [9]. Phạm Ngọc Đăng, Phạm Hải Hà, Nhiệt và khí hậu kiến trúc, NXB Xây dựng, Hà nội, 2002.
- [10]. Viện nghiên cứu kiến trúc, Kiến trúc và khí hậu nhiệt đới Việt Nam, NXB Xây dựng, Hà nội, 1997.
- [11]. D. G. Kroeger, Convection heat transfer between a horizontal surface and the natural environment, Research and Development Journal, 18 (2002) 49-54.
- [12]. Nguyễn Thế Bảo, Lê Chung Phúc, Xây dựng chương trình tính toán bức xạ mặt trời theo giờ từ số liệu bức xạ mặt trời trung bình tháng, Tạp chí Phát triển KH&CN, 11 (2006) 8 trang.