



## USING THE FINITE CONTACT ELEMENT TO SIMULATE THE PERFORMANCE OF ISOLATION LAYER OF ROAD CONCRETE PAVEMENT

Pham Duc Tho<sup>1</sup>, Tran Nam Hung<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Hanoi University of Mining and Geology, Hanoi, Viet Nam

<sup>2</sup>Le Quy Don Technical University, Hanoi, Viet Nam

### ARTICLE INFO

TYPE: Research Article

Received: 09/06/2022

Revised: 22/12/2022

Accepted: 04/01/2023

Published online: 15/02/2023

<https://doi.org/10.47869/tcsj.74.2.11>

\* *Corresponding author*

Email: tranhung@lqdtu.edu.vn

**Abstract.** In order to decrease the thermal stress in the slab, a thin isolation layer between the slab and the base is installed which reduces friction and adhesion forces at the contact interface to certain values. So far in Vietnam, for the calculation of rigid pavement concrete slab, it is basically assumed that there is no friction between the slab and base layer or they bond with each other. Based on the finite element method this paper presents a numerical estimation of stress-deformation state of the slab taking into account the behavior of the isolation layer. In the study, the isolation layer is modeled by Goodman contact elements that can consider both the friction and adhesion forces at the contact interface. The results show that, in case of considering this layer the stress-deformation state in the concrete slabs changes significantly in comparison with case of bond condition imposed between the slab and the base. Therefore, when modeling the rigid pavement concrete slab, it is necessary to take into account the effect of the isolation layer to more closely reflect the real working condition of the pavement, and in this procedure the finite contact element could be used to simulate this layer.

**Keywords:** rigid pavement, insulation layer, finite element method, contact element.



## SỬ DỤNG PHẦN TỬ HỮU HẠN TIẾP XÚC MÔ PHỎNG SỰ LÀM VIỆC CỦA LỚP CÁCH LY MẶT ĐƯỜNG BÊ TÔNG XI MĂNG

Phạm Đức Thọ<sup>1</sup>, Trần Nam Hưng<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Trường Đại học Mở-Địa chất, Hà Nội, Việt Nam

<sup>2</sup>Học viện Kỹ thuật Quân sự, Hà Nội, Việt Nam

### THÔNG TIN BÀI BÁO

CHUYÊN MỤC: Công trình khoa học

Ngày nhận bài: 09/06/2022

Ngày nhận bài sửa: 22/12/2022

Ngày chấp nhận đăng: 04/01/2023

Ngày xuất bản Online: 15/02/2023

<https://doi.org/10.47869/tcsj.74.2.11>

\* Tác giả liên hệ

Email: tranhung@lqdtu.edu.vn

**Tóm tắt.** Để làm giảm ứng suất nhiệt trong tấm bê tông xi măng mặt đường ô tô lớp cách ly giữa đáy tấm và lớp móng đường được sử dụng để làm giảm lực ma sát và lực dính đáy tấm đến một giá trị nào đó. Trong tính toán tấm bê tông xi măng mặt đường cứng hiện nay ở Việt Nam, thường giả thiết giữa tấm và nền hoặc là không có ma sát hoặc là dính chặt với nhau. Điều này sẽ dẫn đến kết quả nhận được không phản ánh sát sự làm việc thực tế của mặt đường. Dựa trên phương pháp phần tử hữu hạn, bài báo này trình bày một khảo sát số trạng thái ứng suất-biến dạng tấm bê tông xi măng mặt đường có kể đến ứng xử của lớp cách ly. Trong đó, lớp cách ly được mô hình hóa bằng phần tử tiếp xúc Goodman. Phần tử tiếp xúc này có thể mô phỏng được lực ma sát và lực dính đáy tấm. Kết quả cho thấy, khi tính đến ứng xử của lớp cách ly, trạng thái ứng suất-biến dạng trong tấm có sự thay đổi khá lớn so với giả thiết tấm và nền dính chặt. Do vậy, khi mô hình hóa tấm bê tông xi măng mặt đường ô tô, việc kể đến lớp cách ly là cần thiết để phản ánh sát hơn điều kiện làm việc thực tế của mặt đường, và trong quá trình đó có thể sử dụng phần tử hữu hạn tiếp xúc để mô phỏng lớp cách ly này.

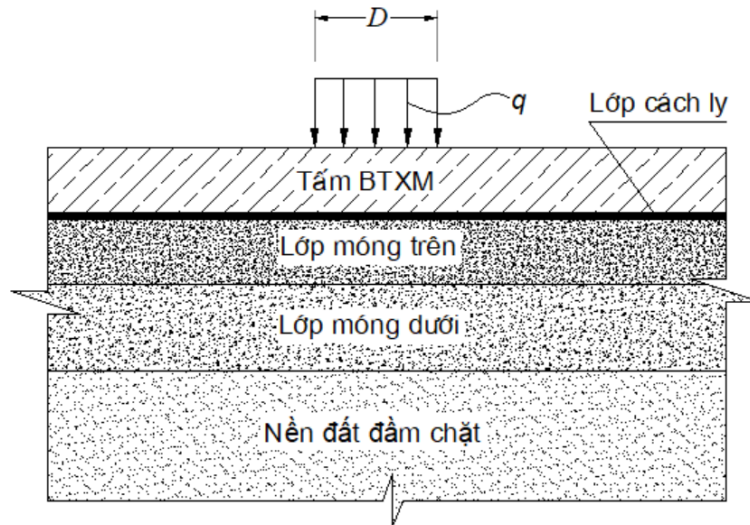
**Từ khóa:** mặt đường cứng, lớp cách ly, phương pháp phần tử hữu hạn, phần tử tiếp xúc.

© 2023 Trường Đại học Giao thông vận tải

### 1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Mặt đường cứng đường ô tô, sân bay thường được cấu tạo bởi tấm bê tông xi măng (BTXM) được đặt trên một hoặc hai lớp móng và dưới cùng là nền đất đầm chặt (Hình 1). Đối với đường có quy mô giao thông từ trung bình trở lên, lớp móng trên thường là lớp móng đá gia cố hoặc móng cứng. Để hạn chế ứng suất nhiệt trong tấm, giữa tấm BTXM và lớp móng

trên người ta bố trí một lớp cách ly để làm giảm ma sát đáy tấm. Các quy trình thiết kế mặt đường của nhiều nước đều quy định phải bố trí lớp cách ly giữa tấm BTXM và lớp móng. Lớp cách ly thường được cấu tạo từ các loại vật liệu dễ biến dạng trượt như, sử dụng từ 1÷2 lớp giấy dầu, sử dụng một lớp mỏng bitum cát hoặc một lớp mỏng bê tông nhựa [1-4].



Hình 1. Cấu tạo điển hình của mặt đường BTXM.

Hiện nay ở Việt Nam, trong tính toán tấm BTXM mặt đường ô tô chịu tác dụng của tải trọng bánh xe, người ta thường sử dụng mô hình tấm mỏng trên nền đàn hồi (nền ở đây được hiểu bao gồm phần móng và nền đất bên dưới) [5]. Theo phương pháp giải tích nửa thực nghiệm trong quy trình tính toán mặt đường cứng của Việt Nam, 22TCN-223-95 [1], khi tính toán chiều dày tấm BTXM đỡ tại chỗ dưới tác dụng của tải trọng tiêu chuẩn, dùng phương pháp tính của Westergaard; khi tính toán chiều dày tấm BTXM dưới tác dụng của xe nặng cá biệt, xe bánh xích và xe nhiều bánh, dùng phương pháp của Shekter. Phương pháp tính của Westergaard dựa trên mô hình tấm mỏng trên nền đàn hồi một hệ số Winkler. Mô hình nền Winkler cho phép tấm và nền luôn làm việc cùng nhau theo phương đứng, có nghĩa là theo phương này tấm và nền luôn “đính chặt”; còn theo phương ngang, tấm có thể dịch chuyển tự do trên nền, có nghĩa là không tính đến ma sát đáy tấm. Phương pháp của Shekter sử dụng mô hình tấm mỏng trên nền bán không gian đàn hồi và cũng giả thiết rằng giữa tấm và nền không có ma sát hay lực dính [5]. Theo phương pháp giải tích nửa thực nghiệm khác được quy định trong Tiêu chuẩn cơ sở TCCS 39: 2022/TCĐBVN của Việt Nam [2], khi tính toán tấm BTXM đỡ tại chỗ trên lớp móng trên bằng vật liệu hạt thì theo mô hình tấm một lớp trên nền đàn hồi nhiều lớp; còn khi tính toán tấm BTXM trên lớp móng trên bằng vật liệu hạt có gia cố chất liên kết, bằng bê tông nghèo hoặc bằng bê tông đầm lăn thì theo mô hình tấm hai lớp tách rời trên nền đàn hồi nhiều lớp. Theo đó, giữa tấm và nền không có liên kết, tức là không có ma sát hoặc lực dính mà tấm BTXM chỉ tựa trên nền mà thôi. Hơn nữa, trong tiêu chuẩn này cũng không đề cập đến ảnh hưởng của lớp cách ly bao gồm cả loại vật liệu cách ly và chiều dày của nó.

Bên cạnh các phương pháp đề cập ở trên, phương pháp số cũng là một tiếp cận để tính toán mặt đường BTXM [6-9]. Theo tiếp cận này, để đơn giản hóa, người ta thường mô hình hóa tấm BTXM trên nền đàn hồi Winkler. Lúc này nền được thay thế bằng một hệ lò xo tương đương. Tuy nhiên, mô hình nền Winkler có nhược điểm là chỉ xét được biến dạng cục bộ của nền và không tính đến được ma sát đáy tấm [5]. Ma sát đáy tấm là một yếu tố quan trọng để

tính toán ứng suất trong tấm dưới tác dụng của nhiệt độ môi trường [10, 11]. Hơn nữa, khi mô phỏng số dựa trên mô hình nền Winkler thì hệ số nền là một tham số quan trọng ảnh hưởng đến kết quả nhận được. Một khi nền bao gồm nhiều lớp vật liệu khác nhau thì việc xác định hệ số nền tương đương theo mô hình nền Winkler sẽ trở nên phức tạp và kém chính xác [5].

Một cách khác trong phương pháp số là coi hệ tấm-nền là một vật thể nhiều môi trường, tức là cùng một hệ thống mạng lưới phần tử liên tục và dùng tính chất cơ học phần tử không giống nhau để phân chia tấm và nền. Nền ở đây cũng có thể bao gồm nhiều lớp vật liệu khác nhau. Mô hình này coi mặt tiếp xúc giữa tấm và nền không có chuyển vị tương đối, lực ma sát và lực dính trên mặt tiếp xúc là vô cùng, tức là tấm và nền luôn dính chặt [12-14]. Tuy nhiên, trên thực tế sự hiện diện của lớp cách ly mỏng sẽ làm cho mặt tiếp xúc giữa tấm và nền luôn tồn tại ma sát và lực dính hữu hạn nào đó.

Trong bài báo này, dựa trên phương pháp phần tử hữu hạn, trạng thái ứng suất-biến dạng tấm BTXM mặt đường ô tô dưới tác dụng của tải trọng bánh xe được khảo sát trong đó lớp cách ly được mô phỏng bằng phần tử hữu hạn tiếp xúc Goodman. Việc sử dụng phần tử hữu hạn tiếp xúc có ưu điểm là nó có thể tính đến được ma sát và lực dính đáy tấm. Hai loại lớp cách ly là giấy dầu và bê tông nhựa được xem xét. Các kết quả tính toán số cho hai trường hợp tấm-nền “dính chặt” và “không dính chặt” được so sánh để cho thấy được ảnh hưởng của lớp cách ly đến phân bố ứng suất-biến dạng của mặt đường.

## 2. LỰA CHỌN KẾT CẤU VÀ MÔ HÌNH TÍNH TOÁN

### 2.1. Lựa chọn kết cấu và tải trọng tính toán

Đối với mặt đường ô tô, sử dụng tải trọng trục tiêu chuẩn  $P = 10T$ , tức là tải trọng tác dụng trên một cụm bánh đôi là  $5T$ , và do đó tải trọng phân bố đều trên vệt bánh xe hình tròn bán kính  $r = 0,165$  m với cường độ  $0,6$  MPa [11]. Trong tính toán kết cấu mặt đường ô tô, người ta có thể tính toán cho trường hợp tải trọng bánh xe tác dụng tại tâm tấm. Khi tải trọng tác dụng tại cạnh tấm và góc tấm, kết quả tính toán có thể nhận được bằng cách nhân kết quả của trường hợp tải trọng tác dụng tại tâm tấm với các hệ số điều chỉnh.

Trên cơ sở các khuyến cáo của Tiêu chuẩn cơ sở TCCS 39: 2022/TCĐBVN [2], trong nghiên cứu này chúng tôi xét hai trường hợp sau đây:

- Trường hợp thứ nhất là mặt đường BTXM đổ tại chỗ cho đường có quy mô giao thông nhẹ. Khi đó, xét một tấm BTXM hình vuông có kích thước  $4,5 \text{ m} \times 4,5 \text{ m} \times 0,20 \text{ m}$  đặt trên lớp móng bằng vật liệu hạt cấp phối đá dăm dày  $0,2$  m. Chiều rộng tấm được chọn lớn như vậy là để ứng suất trong tấm dưới tác dụng của tải trọng đặt tại tâm tấm sẽ không phụ thuộc vào điều kiện biên cạnh tấm. Dưới lớp móng là nền đất đầm chặt  $K=0,98$ . Giữa tấm BTXM và lớp móng được phân cách bằng một lớp giấy dầu. Kết cấu này được ký hiệu là KC1.

- Trường hợp thứ hai là mặt đường BTXM đổ tại chỗ cho đường có quy mô giao thông rất nặng. Lúc này tấm BTXM được chọn với kích thước  $4,5 \text{ m} \times 4,5 \text{ m} \times 0,26 \text{ m}$  đặt trên lớp móng trên bằng bê tông nghèo dày  $0,16$  m và lớp móng dưới bằng cấp phối đá dăm gia cố 3% xi măng dày  $0,18$  m. Dưới các lớp móng là nền đất đầm chặt  $K=0,98$ . Giữa tấm BTXM và lớp móng được bố trí một lớp cách ly bằng bê tông nhựa chặt chiều dày  $h_{cl}$  bằng  $30$  mm. Kết cấu này được ký hiệu là KC2.

Bảng 1. Các tham số tính toán của kết cấu.

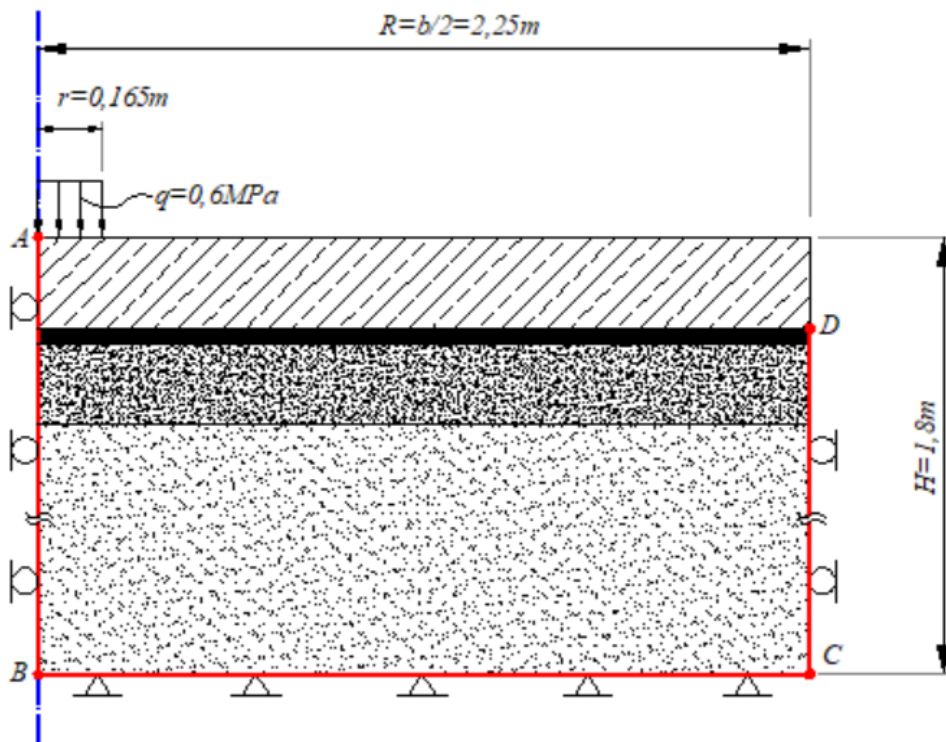
KC	Lớp kết cấu	Chiều dày (cm)	Mô đun đàn hồi E (MPa)	Hệ số Poisson $\mu$
KC1	Tấm BTXM	20	27.000	0,15
	Móng CPĐĐ	20	300	0,30
	Nền đất		42	0,30
KC2	Tấm BTXM	26	31.000	0,15
	Lớp móng trên bê tông nghèo	16	21.000	0,15
	Lớp móng dưới CPĐĐ gia cố 3%XM	18	600	0,25
	Nền đất		42	0,3

Tấm BTXM được giả thiết có các cạnh tự do, toàn bộ hệ làm việc trong giai đoạn đàn hồi.

Các tham số tính toán của kết cấu được cho trong Bảng 1 [2].

## 2.2. Mô hình hóa kết cấu

Vì tải trọng tác dụng trên một vết bánh xe hình tròn và chiều rộng của tấm đủ lớn nên ta có thể nghiên cứu bài toán dựa trên một mô hình biến dạng phẳng đối xứng trục với bán kính của mô hình bằng một nửa chiều rộng tấm. Trục đối xứng đi qua tâm vết bánh xe và vuông góc với mặt tấm. Mô hình đối xứng trục của kết cấu được minh họa trên Hình 2.



Hình 2. Mô hình hình học và điều kiện biên của bài toán.

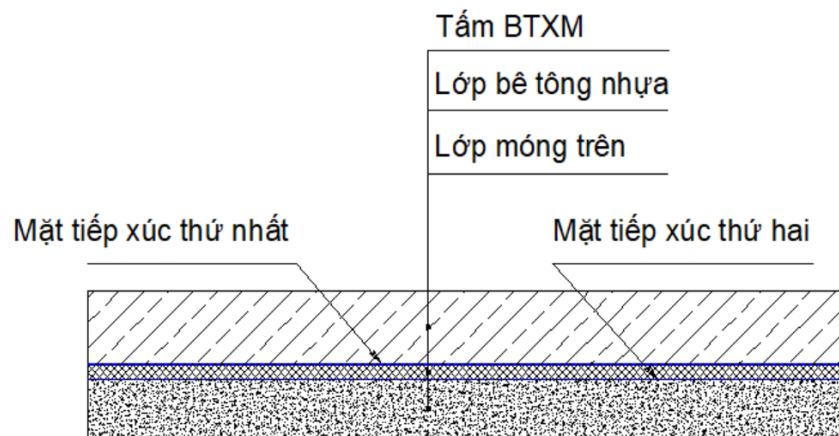
Để có thể giải được bài toán cần phải áp đặt các điều kiện biên. Các điều kiện biên của bài toán được áp đặt như sau (Hình 2):

- Lực tác dụng dạng phân bố đều được áp trên một vật bánh xe hình tròn quy đổi bán kính  $r$ ;
- Mặt bên dưới của mô hình chuyển vị theo các phương  $x, y$  bằng không ( $U_x|_{BC} = U_y|_{BC} = 0$ ). Trong nghiên cứu này, chiều sâu của mô hình được chọn là 1,8 m bao gồm tấm bê tông mặt đường, các lớp móng đường và phần nền đất còn lại. Việc lựa chọn chiều sâu nghiên cứu này dựa trên quan niệm rằng, đến chiều sâu này không còn ảnh hưởng của tải trọng bánh xe nữa.
- Tại cạnh đối xứng của mô hình, chuyển vị pháp tuyến bằng không ( $U_x|_{AB} = 0$ );
- Tại cạnh bên của phần móng và nền đất chuyển vị pháp tuyến bằng không ( $U_x|_{CD} = 0$ ), có nghĩa là đến các vị trí đủ xa tâm tấm như vậy không còn ảnh hưởng của tải trọng trên các lớp móng và nền đất nữa;
- Cạnh biên tấm được chuyển vị tự do.

Trong các mô phỏng số, sử dụng phần tử hữu hạn biến dạng phẳng đối xứng trục hình chữ nhật 6 điểm nút cho tấm BTXM, các lớp móng và nền đất [15].

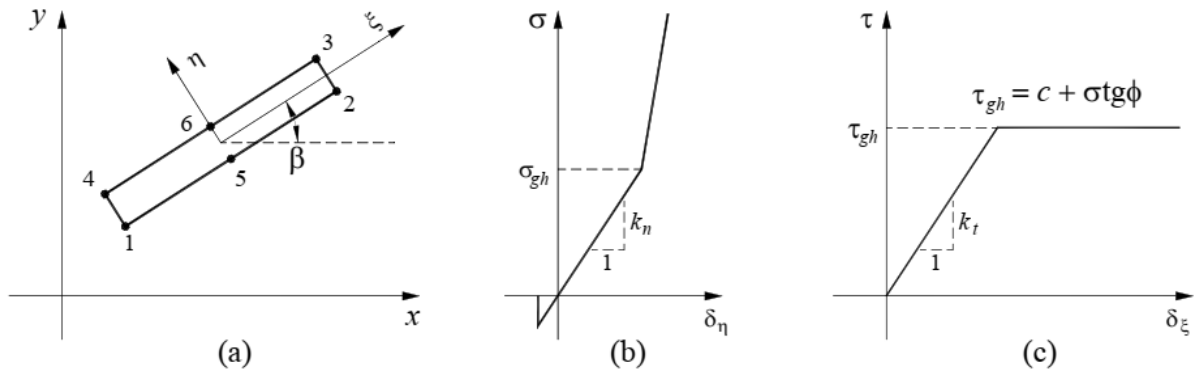
Đối với trường hợp lớp cách ly bằng giấy dầu có chiều dày rất nhỏ, lớp này được mô hình hóa bằng phần tử tiếp xúc Goodman biến dạng phẳng đối xứng trục hình chữ nhật 6 điểm nút [15, 16]. Lúc này ta có một lớp phần tử tiếp xúc trong mô hình mô phỏng.

Đối với trường hợp lớp cách ly bằng một lớp bê tông nhựa mỏng, các mặt tiếp xúc giữa lớp bê tông nhựa với tấm BTXM và giữa lớp bê tông nhựa với lớp móng trên cũng được mô hình hóa bằng phần tử tiếp xúc Goodman. Có nghĩa là, trong trường hợp này, ta sử dụng hai lớp phần tử tiếp xúc tương ứng với hai mặt tiếp xúc.



Hình 3. Các mặt tiếp xúc được mô phỏng bằng phần tử tiếp xúc khi lớp cách ly bằng lớp bê tông nhựa.

Phần tử tiếp xúc Goodman có độ mở bằng không, nó thích hợp để mô phỏng lớp cách ly bằng giấy dầu có chiều dày rất nhỏ so với chiều dày tấm BTXM và chiều dày lớp móng hoặc mô phỏng các bề mặt tiếp xúc giữa lớp cách ly bằng bê tông nhựa với tấm BTXM và với lớp móng trên. Mô hình hình học của phần tử tiếp xúc Goodman 2 chiều được biểu diễn với hệ trục tọa độ cục bộ và tổng thể của nó như trên Hình 4a. Theo đó, tại mỗi nút của phần tử tiếp xúc có 2 bậc tự do chuyển vị là hàm của các tọa độ. Do phần tử có chiều dày bằng không, các cặp nút đối diện mặt trên và dưới của phần tử tương ứng là 1 và 4, 2 và 3, 5 và 6 có cùng tọa độ. Quan hệ ứng suất pháp tuyến và tiếp tuyến với biến dạng pháp tuyến và biến dạng trượt được thể hiện trên các Hình 4b và 4c [15-17].



Hình 4. Sơ đồ hình học của phần tử tiếp xúc (a); quan hệ ứng suất pháp tuyến và tiếp tuyến với biến dạng pháp tuyến (b) và biến dạng trượt (c).

Phương trình liên hệ ứng suất - biến dạng của phần tử tiếp xúc có dạng như sau [15]:

$$\begin{Bmatrix} \Delta\sigma \\ \Delta\tau \end{Bmatrix} = [D_{ce}] \begin{Bmatrix} \Delta\varepsilon \\ \Delta\gamma \end{Bmatrix} \quad (1)$$

trong đó,  $[D_{ce}]$  là ma trận liên hệ ứng suất - biến dạng của phần tử tiếp xúc. Đối với bài toán biến dạng phẳng ta có:

$$[D_{ce}] = \begin{bmatrix} k_n & 0 \\ 0 & k_s \end{bmatrix} \quad (2)$$

với:  $k_s$  là độ cứng tiếp tuyến,  $k_n$  là độ cứng pháp tuyến của phần tử.

Các tham số tính toán của phần tử tiếp xúc có thể được xác định bằng thí nghiệm theo [16]. Khi không có điều kiện thí nghiệm thì có thể xác định chúng một cách lý thuyết bằng phương pháp đồng nhất hóa [18]. Trong nghiên cứu này, các tham số của phần tử tiếp xúc được chọn như sau. Trường hợp lớp cách ly bằng giấy dầu, hệ số ma sát  $f=tg\phi=0,9$ ; lực dính đơn vị  $C=0,05$  MPa; độ cứng pháp tuyến  $k_n=404$  MPa; độ cứng tiếp tuyến  $k_s=115$  MPa. Trường hợp lớp cách ly bằng bê tông nhựa,  $f=tg\phi=0,7$ ; lực dính đơn vị  $C=0,035$  MPa; độ cứng pháp tuyến  $k_n=378$  MPa; độ cứng tiếp tuyến  $k_s=126$  MPa [18, 19].

Quá trình tính toán được thực hiện trên phần mềm phần tử hữu hạn mã nguồn mở *ASTER*, được phát triển bởi tập đoàn điện lực Pháp [20]. Đây là phần mềm mô phỏng số mạnh mẽ, được sử dụng nhiều trong nghiên cứu và tính toán các công trình đòi hỏi độ chính xác cao. Phần tử tiếp xúc Goodman đã được tích hợp trong phần mềm này.

### 3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

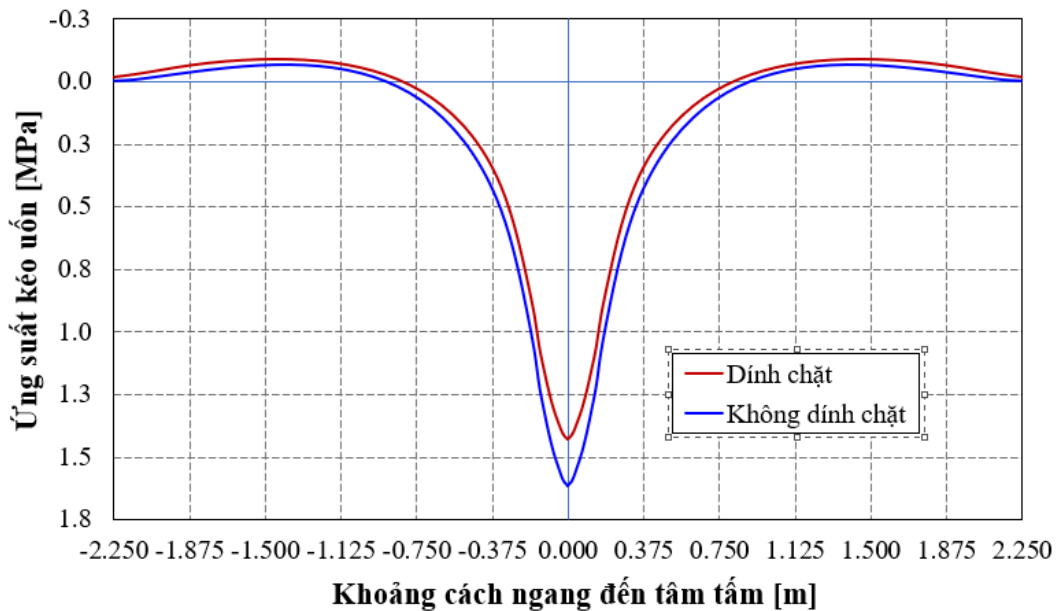
#### 3.1. Trường hợp lớp cách ly bằng giấy dầu

Đây là trường hợp cho kết cấu loại 1, khi đó lớp cách ly bằng giấy dầu được mô hình hóa bằng 1 lớp phần tử tiếp xúc.

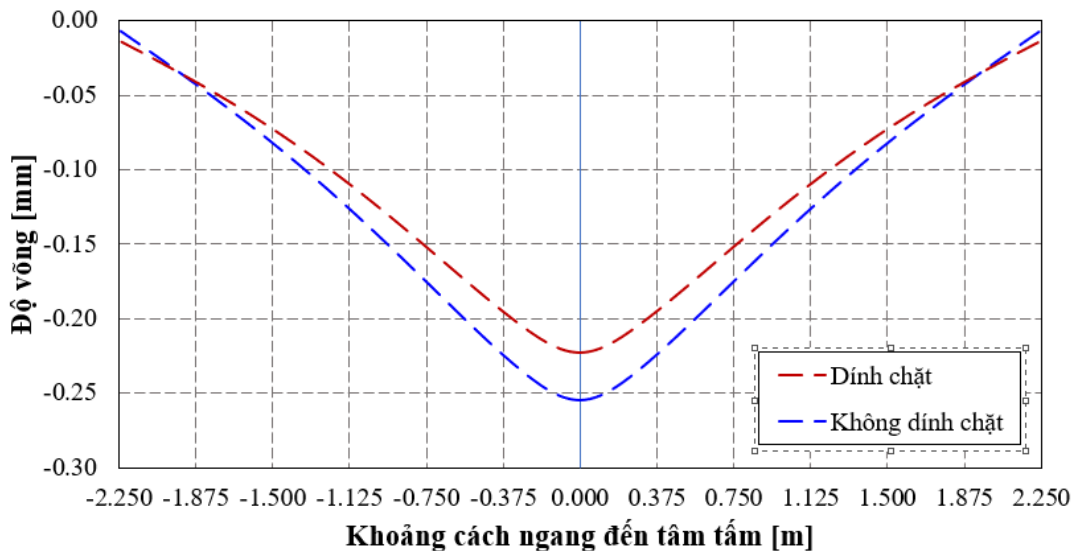
Ứng suất kéo uốn lớn nhất ở tâm đáy tấm trong trường hợp này là 1,615 MPa trong khi đó nếu tính toán theo phương pháp của Westergaard thì giá trị nhận được là 1,626 MPa. Sai khác giữa chúng là nhỏ (0,7%). Điều đó chứng tỏ việc sử dụng phần tử tiếp xúc để mô phỏng mặt tiếp xúc là phù hợp. Phương pháp của Westergaard dựa trên mô hình nền hệ số Winkler.

Như trên đã đề cập, hạn chế của mô hình này là không tính đến được ma sát đáy tấm cũng như chỉ mô tả được biến dạng cục bộ của nền. Một điểm cần lưu ý là, khi nền gồm nhiều lớp vật liệu có độ cứng khác nhau thì việc xác định hệ số nền tương đương sẽ kém chính xác.

Để thấy được ảnh hưởng của lớp cách ly đến trạng thái ứng suất trong tấm, trong nghiên cứu này chúng tôi so sánh kết quả dựa trên mô hình sử dụng phần tử tiếp xúc (lúc này liên kết giữa tấm và nền được gọi là “không dính chặt”) với kết quả nhận được dựa trên giả thiết hệ kết cấu là một vật thể nhiều môi trường (được gọi là “dính chặt”).



Hình 5. Ứng suất kéo uốn đáy tấm ứng với các trường hợp khác nhau về điều kiện liên kết của lớp cách ly bằng giấy dầu.



Hình 6. Độ võng đáy tấm ứng với các trường hợp khác nhau về điều kiện liên kết của lớp cách ly bằng giấy dầu.

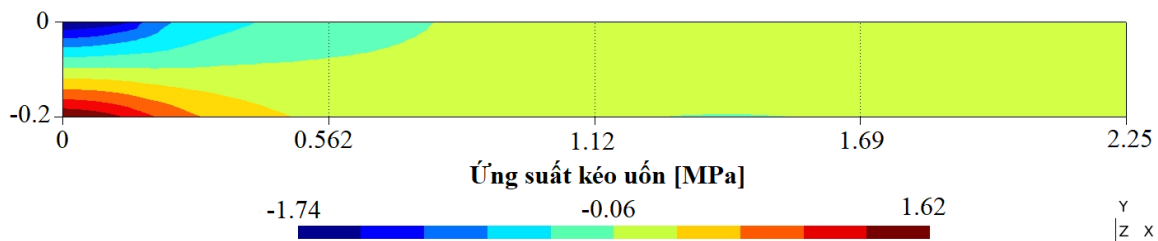
Hình 5 thể hiện ứng suất kéo uốn dưới đáy tấm BTXM cho hai trường hợp tấm và nền không dính chặt (xét ảnh hưởng của lớp cách ly) và trường hợp tấm và nền dính chặt. Các đồ



thì cho thấy rằng, khu vực phía bên trong tấm chịu kéo uốn với giá trị ứng suất lớn trong khi phía bên ngoài chịu nén uốn với giá trị ứng suất khá nhỏ.

Từ Hình 5 dễ dàng quan sát thấy rằng, ứng suất trong trường hợp tấm-nền không dính chặt lớn hơn so với trường hợp nền-tấm dính chặt. Cụ thể là, khi tấm-nền dính chặt, ứng suất kéo uốn lớn nhất (ở giữa tấm) là 1,43 MPa trong khi trong trường hợp tấm-nền không dính chặt đại lượng này nhận giá trị 1,62 MPa. Như vậy, ứng suất kéo uốn lớn nhất ở tâm tấm tăng lên 13,3% khi thay đổi điều kiện đáy tấm từ dính chặt sang không dính chặt. Hiện tượng này có thể được giải thích như sau. Khi mô hình tính xem xét tấm và nền dính chặt, sự làm việc của tấm và nền là đồng thời, các lớp nền móng bên dưới tham gia chịu tải nhiều hơn cùng với tấm BTXM mặt đường. Trong khi đó, nếu mô hình tính tấm-nền không dính chặt, lớp cách ly sẽ làm hạn chế sự truyền lực từ tấm sang nền, và do đó tấm phải chịu tải lớn hơn. Điều này cho thấy rằng, trong các mô hình tính toán số để mô phỏng sự làm việc của mặt đường BTXM, việc xem xét tấm BTXM và nền móng làm việc đồng thời (dính chặt) đã không cho thấy được sự ảnh hưởng lớn của lớp cách ly đến trạng thái ứng suất của mặt đường.

Hình 6 thể hiện độ võng đáy tấm cho trường hợp tấm-nền dính chặt và không dính chặt. Kết quả cho thấy, độ võng lớn nhất giữa tấm khi tính với mô hình tấm-nền không dính chặt lớn hơn trường hợp còn lại khoảng 14%.



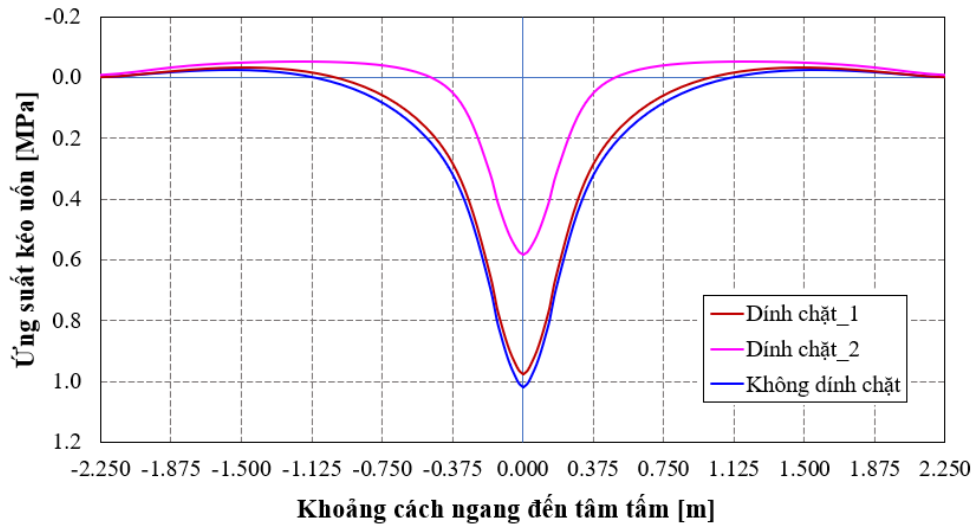
Hình 7. Phân bố ứng suất kéo uốn trong tấm trường hợp lớp cách ly bằng giấy dầu.

Hình 7 hiển thị sự phân bố ứng suất kéo/nén uốn phát sinh trong tấm BTXM trong trường hợp lớp cách ly bằng giấy dầu. Chúng ta quan sát thấy có hai vùng ứng suất có dấu ngược nhau (chịu kéo và chịu nén) xuất hiện tương ứng ở mặt dưới và mặt trên của tấm trong khu vực lân cận vị trí đặt tải.

### 3.2. Trường hợp lớp cách ly bằng bê tông nhựa

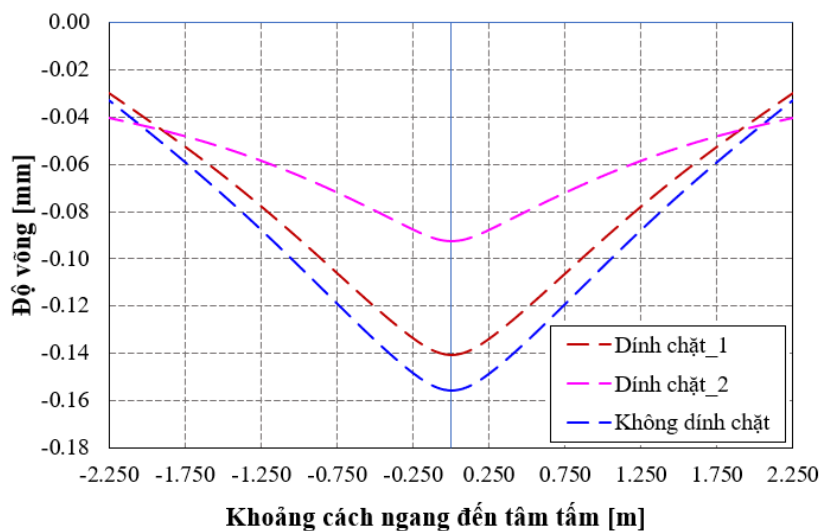
Đây là trường hợp kết cấu loại hai khi mà lớp cách ly bằng một lớp mỏng bê tông nhựa. Các tham số của lớp bê tông nhựa được sử dụng tương ứng với trường hợp mặt đường làm việc trong điều kiện bất lợi về nhiệt độ. Có nghĩa là khi mà nhiệt độ của bề mặt tấm BTXM ở mức cao nhất, lúc đó ứng suất nhiệt trong mặt đường lớn. Các tính chất cơ lý của bê tông nhựa được lấy tương ứng ở thời điểm này. Khi đó nhiệt độ tại đáy tấm BTXM được coi là nhiệt độ của lớp cách ly. Trong nghiên cứu này, các tham số tính toán của lớp bê tông nhựa được chọn như sau [12]: mô-đun đàn hồi  $E_{bm}=315$  MPa, hệ số Poisson  $\mu_{bm}=0,25$ .

Để đánh giá ảnh hưởng của các bề mặt tiếp xúc giữa lớp cách ly bê tông nhựa với tấm BTXM và với lớp móng trên, hai trường hợp dính chặt được xem xét. Trường hợp thứ nhất (ký hiệu là “Dính chặt\_1”) xét lớp bê tông nhựa và lớp móng trên dính chặt trong khi giữa tấm BTXM và lớp bê tông nhựa không dính chặt. Trường hợp thứ hai (ký hiệu “Dính chặt\_2”) xét lớp bê tông nhựa dính chặt cả với tấm BTXM và với lớp móng trên. Trường hợp “Không dính chặt” là trường hợp cả hai mặt tiếp xúc đều không dính chặt.

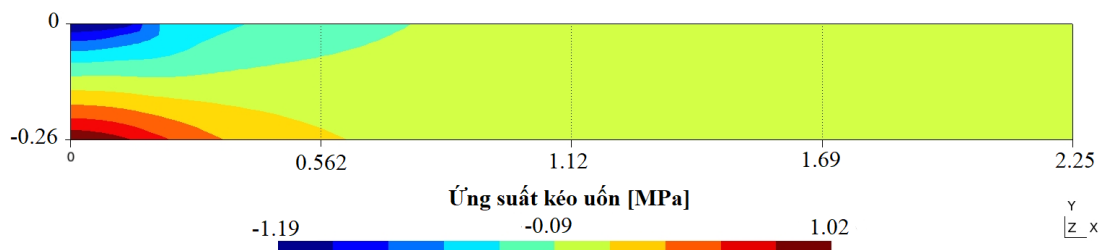


Hình 8. Ứng suất kéo uốn đáy tấm ứng với các trường hợp khác nhau về điều kiện liên kết của lớp cách ly bằng bê tông nhựa với tấm BTXM và lớp móng trên.

Hình 8 biểu thị kết quả ứng suất kéo uốn đáy tấm cho các trường hợp khác nhau về điều kiện liên kết như được mô tả ở trên. Ta nhận thấy rằng, ứng suất kéo uốn trong trường hợp “Không dính chặt” với trường hợp “Dính chặt\_1” khác nhau nhỏ (4,5%). Điều này chứng tỏ điều kiện tiếp xúc ở mặt tiếp xúc thứ hai, giữa lớp cách ly bê tông nhựa và lớp móng trên, không ảnh hưởng nhiều đến ứng suất kéo uốn đáy tấm vì mặt tiếp xúc giữa tấm BTXM với lớp bê tông nhựa đã có tác dụng hạn chế truyền tải trọng từ tấm xuống dưới. Trong khi đó, ứng suất kéo uốn giữa trường hợp “Không dính chặt” với trường hợp “Dính chặt\_2” là rất đáng kể. Cụ thể, khi thay đổi từ điều kiện “Dính chặt\_2” sang điều kiện “Không dính chặt” ứng suất tăng lên 76% (từ 0,58 MPa lên 1,02 MPa). Sự khác biệt này lớn hơn rất nhiều so với trường hợp được xét đến trong mục 3.1. Sở dĩ như vậy vì lúc này lớp móng cứng bằng bê tông nghèo đã tham gia chịu tải một cách đáng kể cùng với tấm BTXM mặt đường khi ta giả thiết các lớp của hệ được dính chặt với nhau. Từ đó có thể đi đến nhận xét rằng, khi mà nền móng đường gồm nhiều lớp và có độ cứng lớn thì việc giả thiết giữa tấm BTXM và các lớp nền dính chặt sẽ dẫn đến những sai số lớn.



Hình 9. Độ võng đáy tấm ứng với các trường hợp khác nhau về điều kiện liên kết của lớp cách ly bằng bê tông nhựa với tấm BTXM và lớp móng trên.



Hình 10. Phân bố ứng suất kéo uốn/nén uốn trong tấm trường hợp lớp cách ly bằng lớp bê tông nhựa.

Hình 9 thể hiện độ võng đáy tấm cho các trường hợp xem xét. Một xu hướng tương tự như ứng suất cũng được quan sát thấy đối với độ võng.

Hình 10 thể hiện rõ hơn sự phân bố của trường ứng suất kéo uốn/nén uốn trong tấm BTXM cho trường hợp tấm và nền không dính chặt.

#### 4. KẾT LUẬN

Bài báo trình bày các tính toán số tấm BTXM mặt đường ô tô dựa trên phương pháp phần tử hữu hạn. Khi lớp cách ly rất mỏng được làm bằng một lớp giấy dầu, nó được mô phỏng bằng một lớp phần tử tiếp xúc Goodman. Khi lớp cách ly bằng một lớp mỏng bê tông nhựa, bề mặt tiếp xúc của lớp cách ly với tấm BTXM và với lớp móng trên được mô phỏng bằng hai lớp phần tử tiếp xúc Goodman. Phần tử tiếp xúc này mô phỏng được sự làm việc của lớp cách ly của mặt đường BTXM bằng việc tính được ma sát và lực dính hữu hạn giữa tấm và nền, và do đó phản ánh sát hơn sự làm việc thực tế của kết cấu mặt đường.

Kết quả các mô phỏng số chỉ ra rằng, khi tính đến lớp cách ly, trạng thái ứng-suất biến dạng của tấm BTXM thay đổi lớn trong so sánh với kết quả nhận được dựa trên giả thiết tấm và nền dính chặt, đặc biệt khi lớp cách ly bằng bê tông nhựa (có chiều dày khá lớn) và mặt đường có cấu tạo lớp móng cứng. Lúc này, ảnh hưởng của mặt tiếp xúc giữa tấm BTXM với lớp cách ly có ảnh hưởng chủ yếu trong khi của mặt tiếp xúc giữa lớp cách ly với lớp móng trên là không đáng kể. Những kết quả trên gợi ý rằng, việc kể đến sự làm việc của lớp cách ly là cần thiết khi tính toán mặt đường BTXM dựa trên mô phỏng số bằng phương pháp phần tử hữu hạn.

#### TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Bộ GTVT, 22TCN 223-95, Áo đường cứng đường ô tô – Tiêu chuẩn thiết kế, 1995.
- [2]. Tổng cục Đường bộ Việt Nam, TCCS 39: 2022/TCĐBVN, Thiết kế mặt đường bê tông xi măng thông thường có khe nổi trong xây dựng công trình giao thông, 2022.
- [3]. AASHTO 1998, Guide for Design of Pavement Structures.
- [4]. Specifications for Dign of Highway Cement Concrete Pavement (Chinese Standard), JTG D40-2011, 2011. <https://www.chinesestandard.net/PDF.aspx/JTGD40-2011>
- [5]. Phạm Cao Thăng, Tính toán thiết kế các kết cấu mặt đường, Nhà xuất bản Xây dựng, 2014.
- [6]. Nguyễn Anh Tuấn, Tính toán tấm trên nền đàn hồi theo phương pháp sai phân hữu hạn, Tạp chí Cầu Đường Việt Nam, 11 (2009) 17-26.
- [7]. Phan Ngọc Tường Vi, Nguyễn Anh Tuấn, Ứng xử mặt đường bê tông xi măng có khe nổi do chênh lệch nhiệt độ bằng phần mềm ABAQUS, Tạp chí Giao thông Vận tải, 5 (2016) 56-59.

- [8]. L. Gabriela, M. Jozef, Numerical simulation of moving load on concrete pavements, *Transport and Telecommunication*, 2 (2015) 145-157. <https://doi.org/10.1515/ttj-2015-0014>
- [9]. B. Lea, L. Hosin, R. Sungwoo, H.C.Yoon, Cantilever and pull-out tests and corresponding FEM models of various dowel bars in airport concrete pavement, *Construction and Building Materials*, 83 (2015) 181-188. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.02.066>
- [10]. Huang Y. H., *Pavement Analysis and Design*, Pearson Education, Inc (2004).
- [11]. Bùi Xuân Cây, Trần Thị Kim Đăng, Vũ Đức Sỹ, Nguyễn Quang Phúc, *Thiết kế nền mặt đường ô tô*, Nhà xuất bản GTVT, 2009.
- [12]. Phạm Duy Linh, Vũ Đức Sỹ, Phạm Cao Thăng, Phương pháp tính toán mặt đường bê tông xi măng hệ nhiều lớp có xét ảnh hưởng của chiều dày lớp cách ly giữa các lớp, *Tạp chí GTVT*, 6 (2020) 80-83.
- [13]. Naynish Pandey, *Analysis of Pavement Using Finite Element Techniques*, *International Journal of Recent Engineering Research and Development*, 3 (2018) 127-132.
- [14]. M. Piotr, *Analysis of stresses in concrete pavement under a dowel according to its diameter and load transfer efficiency*, *Can. J. Civ. Eng.*, 42 (2015) 845–853. <https://doi.org/10.1139/cjce-2014-011>
- [15]. A.B. Fadeev, *Phương pháp phân tử hữu hạn trong địa cơ học*, Nhà xuất bản Giáo dục, 1995.
- [16]. R.E, Goodman, J.J. Dubois, Duplication of Dilatancy in Analysis of Jointed Rocks, *Journal of Soil Mechanics and Foundations Div.*, 98 (1972) 399-422. <https://doi.org/10.1061/JSFEAQ.0001746>
- [17]. Nguyễn Thái Chung, Tương tác giữa vỏ và nền san hô dưới tác dụng của tải trọng nổ, *Tạp chí Khoa học và Công nghệ biển*, 10 (2010).
- [18]. Nguyen Thi Thu Nga, Tran Nam Hung, Modeling of contact interface between two material layers in hybrid structures, *Transport and Communications Science Journal*, 71 (2020) 419-430. <https://doi.org/10.25073/tcsj.71.4.10>
- [19]. Dương Học Hải, Nguyễn Xuân Trục, *Thiết kế đường ô tô - tập 2*, Nhà xuất bản Giáo dục, 2005.
- [20]. Trần Văn Xuân, Lê Thị Thùy Trang, *Code Aster - Phần mềm tính toán phần tử hữu hạn*, *Năng lượng hạt nhân*, số 01 - tuyển tập 02 - tháng 3 (2012).