

Đánh giá ảnh hưởng của trục xe trong cụm trục làm tăng tải trọng trục xe tính toán trong phân tích kết cấu áo đường mềm đường ô tô

■ GS. TS. PHẠM CAO THĂNG; TS. PHẠM ĐỨC PHONG

Học viện Kỹ thuật Quân sự

■ TS. PHẠM TUẤN ANH

Trường Đại học Công nghệ Giao thông vận tải

TÓM TẮT: Bài báo giới thiệu phương pháp tính toán ảnh hưởng của trục xe lân cận trong cụm trục, làm gia tăng tải trọng tại trục tính toán, làm cơ sở tính toán quy đổi số lượng trục xe khai thác của cụm trục xe nhiều trục về số trục tiêu chuẩn, phục vụ tính toán kết cấu áo đường mềm đường ô tô.

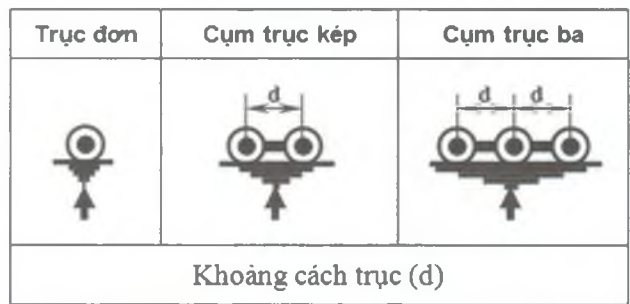
TỪ KHÓA: Bê tông nhựa, kết cấu áo đường mềm, tải trọng trục tiêu chuẩn, lưu lượng trục xe.

ABSTRACT: The research introduces a analysis method to evaluate the influence of adjacent axles in the axle assembly, that increases the loading at the calculated axis, as a basis for calculating and converting the number of exploited axles of the multi-axle axle assembly about the number of standard axes, serving the calculation of the road flexible pavement structure.

KEYWORDS: Asphalt concrete, flexible pavements, equivalent axle loads, traffic.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Trong thực tế, khai thác đường tồn tại nhiều loại phương tiện với cấu trúc trục xe khác nhau. Cấu trúc trục có thể là trục bánh đơn, trục bánh kép, cụm trục xe có thể có một trục, hai trục hoặc ba trục (Hình 1.1). Theo Thông tư số 46/2015/TT-BGTVT, khoảng cách d giữa các trục có thể nhỏ hơn 1,0 m, từ 1,0 đến 1,3 m hoặc trên 1,3 m, tùy thuộc tải trọng cụm trục xe của từng loại phương tiện. Trong tính toán thiết kế cần quy đổi số trục xe khai thác trong cụm trục về tổng trục xe tiêu chuẩn, phục vụ tính toán tuổi thọ mỗi do trùng phục tải trọng. Xét một tải trọng trục tính toán và một tải trọng trục lân cận nó, khi khoảng cách giữa các trục trong cụm trục bánh là nhỏ, nằm trong giới hạn mặt võng của trục tính toán, tải trọng trục lân cận sẽ làm tăng độ võng tại tiết diện tính toán của mặt đường, làm tăng ứng suất trong các lớp vật liệu, tương đương làm gia tăng tổng lưu lượng trục xe khai thác trên mặt đường.



Hình 1.1: Mô hình cụm trục xe ô tô

Hiện nay, để tính toán ảnh hưởng của trục bánh liền kề đến trục tính toán, có nhiều phương pháp tính toán khác nhau. Trong quy trình của Nga [5] đã đưa ra quy định tính ảnh hưởng của trục xe liền kề ($d \leq 2,5$ m) làm tăng tải trọng trục xe tính toán, áp dụng cho cụm trục có tải trọng bất kỳ, phụ thuộc khoảng cách thực tế giữa các trục và độ cứng của kết cấu theo nhóm kết cấu áo đường, phân theo ba loại kết cấu tầng mặt cấp cao, tầng mặt cấp quá độ và tầng mặt cấp thấp. Theo quy trình thiết kế áo đường của Mỹ [3], trong phần mềm tính toán theo phương pháp cơ học thực nghiệm, khi tính ảnh hưởng của trục xe liền kề đến trục xe tính toán, hệ số quy đổi được xác định riêng cho từng loại phương tiện. Trong quy trình thiết kế áo đường mềm của Việt Nam 22TCN 211-06[1] đã quy định chung tính toán ảnh hưởng của trục liền kề trong cụm trục có tải trọng vừa và nhỏ, tham khảo từ [6], quy định chỉ áp dụng cho khoảng cách các trục nằm trong phạm vi $d \leq 3,0$ m. Trong tính toán không quy định xét khoảng cách thực tế của các trục xe và không xét ảnh hưởng của cường độ kết cấu áo đường. Riêng đối với các cụm trục xe có tải trọng nặng hoặc xe rơ-mooc, quy định áp dụng phương pháp tính theo quy trình của Nga [5].

Trong bài báo này, nhóm tác giả trình bày một phương pháp tính toán lý thuyết về ảnh hưởng của trục xe liền kề làm tăng tải trọng bánh xe tính toán, làm cơ sở tính toán quy đổi số trục xe của cụm trục nhiều trục về số trục xe tiêu chuẩn. Trong công thức tính toán có xét ảnh hưởng khoảng cách thực tế giữa các trục xe trong cụm trục và cường độ thực tế từng loại kết cấu áo đường, tính cho trường hợp cụm trục có hai trục.

2. CƠ SỞ TÍNH TOÁN XÁC ĐỊNH ẢNH HƯỞNG CỦA BÁNH XE LIÊN KẾ ĐẾN BÁNH XE TÍNH TOÁN

Xét trường hợp cụm trục gồm hai trục có tải trọng kí hiệu P_1 và P_2 , cách nhau một khoảng d , gây ra độ võng mặt đường tại mặt cắt tính toán, thể hiện trên Hình 2.1, tính chộ trục bánh đơn 10 T, tải trọng tính theo quy định trong 22TCN 211-06. Bánh thứ hai nằm trong phạm vi chịu võng do bánh thứ nhất gây ra, tại vị trí bánh I được chọn là tiết diện tính toán, ta có tổng độ võng:

$$w_{tt} = w_I + \Delta w_{II} \tag{1}$$

Trong đó:

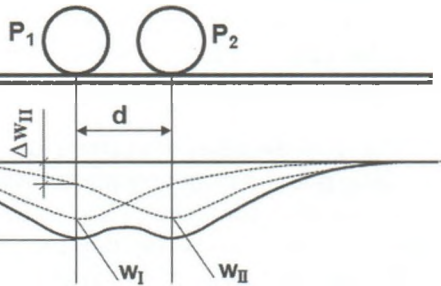
- w_{tt} - Tổng độ võng tại tiết diện tính toán, cm;
- w_I - Độ võng do bánh xe tính toán gây ra, cm;
- Δw_{II} - Phần độ võng phụ thêm do bánh liền kề gây ra tại tiết diện tính toán, cm.

Độ võng tại tâm tải trọng bánh xe trên bề mặt kết cấu áo đường mềm, với các lớp vật liệu đàn hồi, có mô-đun đàn hồi chung của kết cấu áo đường E_{ch} , dưới tác dụng của tải trọng với áp lực q trên diện tích tiếp xúc vệt tải trọng hình tròn, đường kính D , có thể áp dụng công thức của Boussinesq:

$$w_I = \frac{qD(1-\mu^2)}{E_{ch}} \tag{2}$$

Trong đó:

- D - Đường kính vệt bánh xe, với trục 10 T, tải trọng tính, $D = 33$ cm;
- q - Áp lực bánh xe xuống mặt đường, MPa;
- E_{ch} - Mô-đun đàn hồi chung áo đường, MPa;
- μ - Hệ số poisson trung bình của các lớp vật liệu kết cấu áo đường.



Hình 2.1: Biểu đồ mặt võng mặt đường chịu tải trọng hai trục bánh xe liền kề

Áp dụng kết quả nghiên cứu thực nghiệm của Korsunski [4], do tồn tại độ cứng trong các lớp vật liệu áo đường, nên dưới tác dụng của tải trọng bánh xe, sẽ tạo ra chộ võng trên mặt đường, độ võng của một điểm nằm trong phạm vi chộ võng của bánh xe tính toán, quan hệ với độ võng tại tâm bánh tính toán theo công thức:

$$\lambda = \frac{\Delta w_{II}}{w_I} = \frac{1}{1 + 0,67 \left(\frac{2.X}{D} \arctg \frac{D}{h_{td}} \right)^2} \tag{3}$$

Trong đó:

- X - Khoảng cách từ điểm xem xét đến tâm tải trọng, cm. Khi xét ảnh hưởng của trục xe liền kề đến độ võng bánh xe tính toán, thay $X = d$ (Hình 2.1).
- h_{td} - Chiều dày quy đổi tương đương của lớp trên, được xác định theo nguyên lý độ cứng trụ tương đương của các lớp: Nếu các lớp có cường độ bằng nhau sẽ có độ võng

bằng nhau dưới tác dụng của cùng tải trọng, khi đó độ cứng trụ của chúng là bằng nhau, phụ thuộc chiều dày và mô-đun đàn hồi của các lớp. Áp dụng cho kết cấu hệ hai lớp kết cấu áo đường mềm, theo [4] ta có:

$$h_{td} = h \cdot \sqrt{\frac{E_1}{E_0}} \tag{4}$$

Trong đó:

- E_1 - Mô-đun đàn lớp trên, MPa;
- E_0 - Mô-đun đàn hồi của lớp nền, MPa;
- h - Chiều dày lớp trên, cm.

Với kết cấu hệ nhiều lớp, để quy đổi về hệ hai lớp, có chiều dày lớp trên bằng tổng chiều dày h và mô-đun đàn hồi trung hình E_1 , theo hướng dẫn trong 22TCN 211-06[1].

Nếu xem phần độ võng Δw_{II} do bánh xe liền kề gây ra tại bánh xe tính toán, có độ lớn tương đương độ võng do phần áp lực Δq gây ra tại bánh tính toán, khi đó tương tự theo (2) ta có:

$$\Delta q = \frac{\Delta w_{II} \cdot E_{ch}}{D(1-\mu^2)} = \lambda \frac{w_I \cdot E_{ch}}{D(1-\mu^2)} = \lambda \cdot q \tag{5}$$

Với: Δq - Phần áp lực gây ra độ võng Δw_{II} , MPa; w_I xác định theo công thức (2) do áp lực q gây ra, λ xác định theo công thức (3).

Như vậy tại bánh tính toán, tổng độ võng w_{tt} tính theo (1) có độ lớn tương đương độ võng do áp lực q_{tt} gây ra:

$$q_{tt} = q + \Delta q = q(1+\lambda). \tag{6}$$

Khi đó, tính được tải trọng trục xe tính toán P_{tt} gây ra tổng độ võng w_{tt} với áp lực q_{tt} tại bánh tính toán theo công thức:

$$P_{tt} = \frac{q_{tt} \cdot \pi \cdot D^2}{4} = \frac{q(1+\lambda) \cdot \pi \cdot D^2}{4} = P_u + \lambda \cdot q \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4} \tag{7}$$

Trong đó:

- P_{kt} - Tải trọng bánh xe khai thác, kN;
- q - Áp lực bánh xe khai thác, kN/cm² (kN/cm² = 10 MPa).
- Gọi k là hệ số xét đến ảnh hưởng của trục xe liền kề làm tăng tải trọng của bánh xe tính toán:

$$k = \frac{P_{tt}}{P_u} = 1 + \frac{\lambda \cdot q \cdot \pi \cdot D^2}{4P_u} \tag{8}$$

Với: λ - Tỷ lệ độ võng, xác định theo công thức (3).

Khi cần quy đổi tổng lưu lượng trục xe khai thác có cụm trục nhiều trục về n trục xe tính toán tiêu chuẩn, được xác định theo [5]:

$$N = m \cdot n \cdot \left(\frac{P_u}{P_c} \right)^{\beta} = m \cdot n \cdot \left(\frac{k \cdot P_u}{P_c} \right)^{\beta} \tag{9}$$

- với: n - Số lượt xe đi qua mặt cắt tính toán;
- m - Số trục trong cụm trục;
- β - Hệ số thực nghiệm, phụ thuộc cấp hạng áo đường: Với kết cấu áo đường cấp cao $\beta = 4,4$; với kết cấu áo đường quá độ $\beta = 3,0$ còn với kết cấu áo đường cấp thấp $\beta = 2,0$.

P_c - Tải trọng bánh xe tiêu chuẩn, kN;

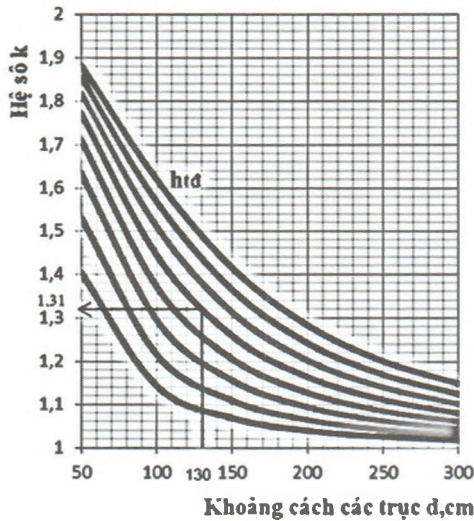
Cũng có thể áp dụng công thức (9) để tính quy đổi lưu lượng trục xe khai thác về trục tính toán tiêu chuẩn cho cụm trục chỉ có một trục với tải trọng trục khác với tải trọng trục tính toán tiêu chuẩn, khi lấy các giá trị m và k bằng 1.

Qua các phân tích trên, từ công thức (8) cho thấy, hệ số ảnh hưởng k phụ thuộc đại lượng tỉ lệ độ võng λ , mà đại lượng λ phụ thuộc khoảng cách các trục d và cường độ kết cấu áo đường, thông qua đại lượng h_{td} , phụ thuộc chiều dày và mô-đun đàn hồi các lớp theo công thức (4): $h_{td} = f(E, h,$

E_p). Khi đó, từ các loại kết cấu áo đường khác nhau, có thể xây dựng quan hệ giữa hệ số ảnh hưởng k với các đại lượng cường độ kết cấu áo đường (thông qua h_{qd}) và khoảng cách d giữa các trục xe trong cụm trục:

$$k = f(h_{qd}, d), \tag{10}$$

Do vậy, có thể xây dựng toán đồ tra hệ số ảnh hưởng k , theo Hình 2.2, phụ thuộc khoảng cách giữa các trục trong cụm trục và chiều dày quy đổi h_{qd} của kết cấu áo đường.



Hình 2.2: Toán đồ xác định hệ số ảnh hưởng với chiều dày quy đổi và khoảng cách các trục xe

Các đường cong (h_{qd}) thứ tự từ trên xuống: $h_{qd} = 200, 180, 160, 140, 120, 100, 80, 60$ (cm).

Trên Hình 2.2 thể hiện thí dụ tính toán cho trường hợp kết cấu áo đường hệ hai lớp, chiều dày lớp trên $h = 64$ cm, mô-đun đàn hồi trung bình $E_{tb} = 308$ MPa, mô-đun đàn hồi nền $E_0 = 45$ MPa, chiều dày tương đương $h_{qd} = 138$ cm. Khoảng cách $d = 130$ cm. Nhận được $k = 1,31$.

3. THÍ DỤ TÍNH TOÁN ẢNH HƯỞNG CỦA BÁNH XE LIỀN KÉ TRONG CỤM TRỤC

Bài toán tính hệ số ảnh hưởng của trục xe liền kề trong cụm trục hai trục trên mặt đường, tính cho kết cấu áo đường với các số liệu đầu vào như sau:

Mặt đường cấp cao, gồm các lớp vật liệu: Lớp trên bằng BTN dày 14 cm (BTNC12,5 dày 7 cm, BTNC19 dày 7 cm), mô-đun đàn hồi ở 30°C bằng 420 MPa, trên lớp móng trên cấp phối đá dăm loại I dày 20 cm, mô-đun đàn hồi $E_1 = 250$ MPa, trên lớp móng dưới cấp phối đá dăm loại II dày 30 cm, mô-đun đàn hồi $E_2 = 200$ MPa, trên lớp nền có mô-đun đàn hồi E_0 bằng 45 MPa.

Trong thí dụ xét cho khai thác cụm trục có hai trục, trục xe bánh đơn, tải trọng trục 100 kN, áp lực bánh hơi 0,6 MPa, đường kính vệt bánh xe $D = 33$ cm. Tính với khoảng cách các trục xe d thay đổi từ 1,0 - 2,0 m.

3.1. Tính theo công thức đề xuất

- Bước 1: Tính quy đổi các lớp mặt và móng về một lớp có mô-đun đàn hồi trung bình tính theo 22TCN 211-06, nhận được mô-đun đàn hồi trung bình các lớp mặt và móng đường $E_{tb} = 308$ MPa, tổng chiều dày các lớp $h = 14+20+30 = 64$ cm.

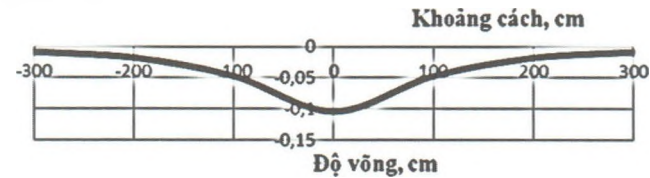
Tính quy đổi tổng chiều dày lớp áo đường về lớp có chiều dày tương đương theo (4):

$$h_{qd} = 72,2 \sqrt[3]{\frac{308}{45}} = 138 \text{ cm.}$$

- Bước 2: Tính tỉ lệ độ võng λ theo công thức (3):

$$\lambda = \frac{\Delta w_{II}}{w_I} = \frac{1}{1 + 0,67 \left(\frac{2.d}{D} \cdot \text{arctg} \frac{D}{h_{qd}} \right)^2}$$

Trên cơ sở độ võng thay đổi theo khoảng cách X đến tâm tải trọng tính theo công thức (3), theo số liệu thí dụ trên, có thể vẽ được biểu đồ mặt cắt ngang chậu võng (Hình 3.1):



Hình 3.1: Biểu đồ mặt cắt ngang chậu võng

- Bước 3: Tính hệ số ảnh hưởng k theo công thức (8):

$$k = \frac{P_{tt}}{P_{kt}} = 1 + \frac{\lambda \cdot q \cdot \pi \cdot D^2}{4P_{kt}}$$

Khi biết được hệ số k , theo (9) sẽ tính được lưu lượng trục xe quy đổi N .

3.2. Tra theo toán đồ Hình 2.2

Với chiều dày lớp mặt đường quy đổi h_{qd} , khoảng cách trục xe liền kề d cm, theo toán đồ Hình 2.2, xác định được hệ số k (Hình 2.2). Trong thí dụ với chiều dày lớp trên $h = 64$ cm, mô-đun đàn hồi trung bình $E_{tb} = 308$ MPa, mô-đun đàn hồi nền $E_0 = 45$ MPa, chiều dày tương đương $h_{qd} = 138$ cm. Theo toán đồ Hình 2.2, từ khoảng cách $d = 130$ cm, chiều lên đường cong $h_{qd} = 138$, chiếu sang trục tung nhận được $k = 1,31$.

3.3. Tính theo quy định trong [5]

Theo phương pháp tính ảnh hưởng của trục xe liền kề trong cụm trục, quy định tính chung cho mọi loại tải trọng cụm trục khác nhau, trong quy trình của Nga [5] (cũng chính là phương pháp tính trong phụ lục A của 22TCN 211-06, nhưng quy định chỉ áp dụng tính riêng cho xe tải nặng hoặc xe rơ-moóc), theo công thức:

$$P_{qd} = P_{kt} \cdot k, \tag{11}$$

Với: P_{qd} - Tải trọng trục xe tính toán, có xét ảnh hưởng của trục xe lân cận trong cụm trục;

P_{kt} - Tải trọng bánh xe khai thác (tải trọng trục nặng nhất trong số các trục trên cùng một cụm trục), kN;

k - Hệ số ảnh hưởng, được xác định theo công thức:

$$k = a - b \cdot \sqrt{d - c}. \tag{12}$$

d - Khoảng cách giữa các trục ngoài cùng của cụm trục, m;

a, b, c - Hệ số thực nghiệm, phụ thuộc cụm hai trục hoặc cụm ba trục và nhóm kết cấu áo đường cấp cao hoặc cấp thấp.

Để tính chuyển đổi về lưu lượng trục xe tính toán tiêu chuẩn, áp dụng công thức tính tương tự theo (9).

Theo công thức thực nghiệm (12), để đơn giản trong tính toán, đã chấp nhận giá trị gần đúng, quy định tính toán ảnh hưởng của cường độ kết cấu áo đường chỉ phân

theo hai nhóm kết cấu là kết cấu áo đường cấp cao và cấp thấp mà không quy định tính riêng cho từng loại kết cấu áo đường.

Với kết cấu áo đường cấp cao, cụm trục có hai trục, có $a = 1,7$; $b = 0,43$ và $c = 0,5$. Với khoảng cách các trục d , sẽ tính được hệ số ảnh hưởng k .

Kết quả tính hệ số ảnh hưởng k cho các trường hợp khoảng cách d khác nhau với số liệu thí dụ trên, theo phương pháp đề xuất và theo quy trình của Nga, thể hiện trong *Bảng 3.1*.

Bảng 3.1. Bảng tính hệ số ảnh hưởng k

Khoảng cách các trục, cm	Hệ số ảnh hưởng k		Sai lệch, %
	Tính theo công thức (8)	Tính theo quy trình của Nga [5]	
100	1,42	1,40	0,021
130	1,30	1,32	-0,010
150	1,25	1,27	-0,018
175	1,19	1,22	-0,020
200	1,16	1,17	-0,015

Nhận xét:

Kết quả tính xác định hệ số ảnh hưởng của tải trọng trục xe liên kế, theo phương pháp đề xuất tương tự với phương pháp tính trong quy trình của Nga quy định. Cả hai phương pháp đều tính ảnh hưởng trục xe liên kế làm tăng tải trọng bánh xe tính toán, phụ thuộc khoảng cách thực tế các trục xe và cường độ kết cấu áo đường, làm cơ sở tính trục xe tiêu chuẩn quy đổi. Khác với tính theo Tiêu chuẩn 22TCN 211-06, mặc dù có xét ảnh hưởng lẫn nhau của trục xe trong cụm trục làm tăng số trục xe tính toán quy đổi, thông qua hệ số C_1 trong công thức (3.2) điều 3.2.3, nhưng khi tính chung cho các loại cụm trục, mới chỉ xét số lượng trục trong cụm trục mà không xét khoảng cách thực tế giữa các trục và không xét cường độ kết cấu áo đường có ảnh hưởng đến độ vòng bánh xe tính toán.

Theo phương pháp đề xuất tính hệ số ảnh hưởng theo công thức (8), có khác với công thức tính trong quy trình của Nga là đã cho phép xét đến cường độ thực tế của từng loại kết cấu áo đường tính toán khác nhau.

Từ *Bảng 3.1* cho thấy, với cùng một loại kết cấu, khoảng cách giữa các trục d có ảnh hưởng đáng kể đến hệ số ảnh hưởng k . Cũng từ *Hình 3.2* về quan hệ giữa hệ số ảnh hưởng k với cường độ kết cấu áo đường thông qua đại lượng chiều dày tương đương h_{td} cho thấy chiều dày và mô-đun đàn hồi các lớp trong kết cấu áo đường có ảnh hưởng đáng kể đến hệ số ảnh hưởng k .

4. KẾT LUẬN

Bài báo đã đề xuất phương pháp lý thuyết tính toán ảnh hưởng của trục xe liên kế hoặc của các trục trong cụm trục, làm tăng tải trọng bánh xe tính toán, làm cơ sở tính toán quy đổi số trục xe tiêu chuẩn, bằng các công thức tính và toán đồ tra. Trong phương pháp tính đề xuất, cho phép xét khoảng cách thực tế giữa các trục xe, cường độ thực tế của từng loại kết cấu áo đường khác nhau và tính cho trục xe có tải trọng bất kỳ. Phương pháp tính đảm bảo độ

tin cậy, có thể tham khảo áp dụng được trong tính toán thực tế.

Tài liệu tham khảo

- [1]. 22TCN 211-06-Áo đường mềm - Các yêu cầu và chỉ dẫn thiết kế.
- [2]. Yang Hui Huang (1993), *Pavement analysis and design*.
- [3]. *Guide for Mechanistic - Empirical Design of New and Rehabilitated Pavement Structures*, 2004.
- [4]. Бабков В. Ф. - Проектирование Автомобильных дорог. М. 1987.
- [5]. ОДН 218-046-01- Проектирование нежестких дорожных одежд.
- [6]. JTG D50-2006-Quy trình thiết kế áo đường mềm của Trung Quốc.

Ngày nhận bài: 18/12/2021

Ngày chấp nhận đăng: 06/01/2022

**Người phản biện: PGS. TS. Hồ Anh Cường
TS. Trần Nam Hưng**