

Xác định vận tốc an toàn giới hạn của sơ-mi rơ-moóc sử dụng hệ thống treo khí nén trên các loại đường ngẫu nhiên

■ TS. ĐẶNG VIỆT HÀ

Cục Đăng kiểm Việt Nam

TÓM TẮT: Tải trọng động của xe xuất hiện trong quá trình vận hành, bị ảnh hưởng bởi vận tốc chuyển động, loại đường sử dụng và mức tải. Tải trọng động một mặt tác động đến xe ảnh hưởng đến độ bền chi tiết, an toàn động lực học, mặt khác ảnh hưởng đến đường gây ra các hư hỏng. Với mỗi loại đường cần xác định vận tốc an toàn giới hạn đảm bảo vừa thân thiện với đường, vừa an toàn cho xe. Để có cơ sở xác định vận tốc an toàn giới hạn, khuyến cáo cho người sử dụng, bài báo thực hiện mô phỏng trên sơ-mi rơ-moóc (SMRM) 3 trục sử dụng hệ thống treo khí nén, đánh giá theo tiêu chí hệ số tải trọng động DLC, hệ số áp lực đường động DLSF, hệ số tải trọng k_{dmax} và k_{dmin} . Kết quả nghiên cứu cho thấy, với đường ngẫu nhiên loại A, B, C xe có thể chạy đến 100 km/h vẫn đảm bảo yêu cầu về tải trọng động và an toàn động lực học, với đường loại D chỉ nên chạy với vận tốc không quá 50 km/h, với đường loại E, F chỉ nên chạy với vận tốc không quá 20 km/h.

TỪ KHÓA: Vận tốc an toàn giới hạn, sơ-mi rơ-moóc sử dụng hệ thống treo khí nén, điều kiện vận hành, tải trọng động.

ABSTRACT: The vehicle dynamic load occurs during operation, affected by the speed, the road surface roughness and cargo mass. The vehicle dynamic load not only affects the durability of parts of a vehicle, dynamic safety, but also damages the road. Each type of road needs to determine a limited safety speed to ensure the friendliness with road and the safety vehicle. In order to have a basis for determining the limited safety speed, and recommendation for the user, this article performed a simulation on 3-axle semi trailer using the air suspension, evaluated according to the criteria dynamic load coefficient DLC, dynamic load stress factor DLSF, dynamic load factor k_{dmax} and k_{dmin} . The research results show that with type A, B, C of random roads, vehicles can run up to 100 km/h still meet the requirements of dynamic load and vehicle dynamic safety. With the road type D, the semi trailer should run with the speed not exceeding 50 km/h, and not exceeding 20 km/h with the road types E, F.

KEYWORDS: Limited safety speed, semi trailer used air suspension, operating conditions, dynamic load.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Khi xe chuyển động, tải trọng bánh xe tác dụng xuống đường là tổng hợp của hai thành phần: tải trọng tĩnh và tải trọng động. Tải trọng tĩnh sinh ra do khối lượng của xe và hàng hóa, tùy mức khối lượng hàng hóa (từ không tải đến đầy tải) mà thành phần này thay đổi trong một dải. Tải trọng tĩnh được sử dụng để xác định giới hạn tải trọng, giá trị giới hạn tùy thuộc vào quy định của mỗi quốc gia [1,2].

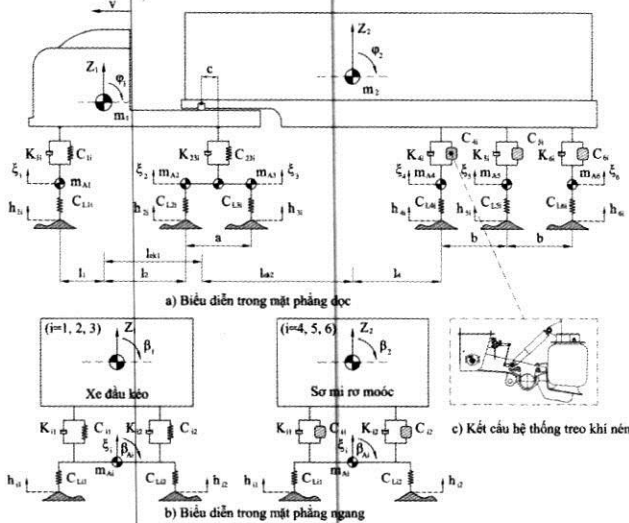
Tải trọng động sinh ra trong quá trình dao động của xe dưới kích động của mặt đường, là yếu tố tác động hai chiều, một mặt tác động đến xe ảnh hưởng đến độ bền chi tiết, an toàn động lực học; mặt khác tác động đến đường gây ra các hư hỏng. Kích động mặt đường là ngẫu nhiên, có tính chu kỳ, gây ra tải trọng động cũng có tính ngẫu nhiên và chu kỳ, tác động trở lại làm cho mặt đường dao động, gây ra nứt tế vi cho đường. Ở hành trình nén, tải trọng động tăng, làm tăng tải trọng tác dụng xuống đường, đồng thời tăng phản lực bánh xe ảnh hưởng đến độ bền chi tiết. Tải trọng động ở hành trình trả giảm, dẫn đến giảm các lực truyền dọc và ngang của bánh xe, có thể xảy ra hiện tượng tách bánh, gây mất khả năng truyền lực, tính dẫn hướng, ảnh hưởng đến an toàn động lực học của xe. Do đó, khi nghiên cứu về tải trọng động phải được đặt trong mối liên hệ đường - xe [3].

Độ lớn của tải trọng động truyền đến đường liên quan đến dao động của xe, bị ảnh hưởng bởi yếu tố thiết kế và yếu tố vận hành xe. Các yếu tố thiết kế bao gồm khối lượng toàn bộ của xe, phân bố khối lượng trên các trục, kích thước hình học xe, đặc tính hệ thống treo và đặc tính lốp. Các yếu tố vận hành bao gồm vận tốc xe, loại đường và mức tải (khối lượng hàng hóa chuyên chở) [4,5]. Ứng với mỗi loại đường, cần xác định vận tốc an toàn giới hạn đảm bảo vừa thân thiện với đường, vừa an toàn cho xe. Để có cơ sở xác định vận tốc an toàn giới hạn, khuyến cáo cho người sử dụng, bài báo thực hiện mô phỏng trên SMRM 3 trục sử dụng hệ thống treo khí nén, đánh giá theo tiêu chí hệ số tải trọng động (*Dynamic*

load coefficient-DLC), hệ số áp lực đường động (Dynamic load stress factor-DLSF), hệ số tải trọng k_{dmax} và k_{dmin} .

2. MÔ HÌNH ĐỘNG LỰC HỌC ĐOÀN XE SMRM

2.1. Mô hình động lực học đoàn xe



Hình 2.1: Mô hình động lực học đoàn xe SMRM

Trong Hình 2.1: C_{ij} - Độ cứng của hệ thống treo; K_{ij} - Hệ số cản giảm chấn của hệ thống treo; C_{Lij} - Độ cứng của lốp; m_j - Khối lượng được treo; m_{Aj} - Khối lượng không được treo; z_j - Chuyển vị của khối lượng được treo; φ_j - Góc quay theo phương dọc của khối lượng được treo; ξ_j - Chuyển vị của khối lượng không được treo; β_{Aj} - Góc quay theo phương ngang của khối lượng không được treo; h_{ij} - Kích động mặt đường.

Đoàn xe SMRM có cấu trúc 6 trục với hệ thống treo cân bằng cụm trục sau xe đầu kéo và SMRM 3 trục sử dụng hệ thống treo khí nén. Dựa trên phương pháp tách cấu trúc hệ nhiều vật và sử dụng phương trình Newton-Euler, thiết lập hệ phương trình cho xe SMRM như sau [6]:

$$M\ddot{z} + K\dot{z} + Cz = C_L H \quad (1)$$

Trong đó: M, K, C - Ma trận khối lượng của SMRM, ma trận hệ số cản giảm chấn, ma trận độ cứng của hệ thống treo; C_L - Ma trận độ cứng của lốp; z - Vector chuyển vị; H - Vector kích động mặt đường.

Hệ thống treo khí nén SMRM được xây dựng thành mô hình con sử dụng mô hình GENSYS [7] với các phương trình cơ bản:

$$F_{z_{ij}} = (p_0 - p_a)A_e + C_{ce}(z_{ij} - \xi_{w_{ij}}) + C_{vc}(z_{ij} - w_{ij}) \quad (2)$$

($i=4,5,6; j=1,2$)

$$M\ddot{w}_{ij} = C_{vc}(z_{ij} - w_{ij}) - K_{z\beta} | \dot{w}_{ij} |^\beta \text{sign}(\dot{w}_{ij}) \quad (3)$$

($i=4,5,6; j=1,2$)

$$C_{ce} = \frac{p_0 A_e^2 n}{V_{b0} + V_{r0}}; C_{vc} = C_{ce} \frac{V_{r0}}{V_{b0}} \quad (4)$$

$$M = I_p A_p \rho \left(\frac{A_e}{A_p} \frac{V_{r0}}{V_{b0} + V_{r0}} \right)^2 \quad (5)$$

$$K_{z\beta} = K_s \left(\frac{A_e}{A_p} \frac{V_{r0}}{V_{b0} + V_{r0}} \right)^{1+\beta} \quad (6)$$

2.2. Hàm kích động

Kích động ngẫu nhiên được xây dựng theo ISO 8608:2016 [8], sử dụng phương pháp Sinusoidal [9], chiều cao $h(x)$, được xác định theo công thức:

$$h(x) = \sum_{i=1}^N \sqrt{2G_i(n_i) \Delta n_i \cos(2\pi i \Delta n_i x + \varphi_i)} \quad (7)$$

$$\Delta n = \frac{1}{L} \quad (8)$$

Trong đó: φ_i - Pha ngẫu nhiên được lấy trong đoạn $[0 \dots 2\pi]$, (rad); L - Chiều dài đoạn đường tạo ngẫu nhiên, (m).

2.3. Các phương án khảo sát

Nghiên cứu này khảo sát với kích động ngẫu nhiên trên đường loại A đến F, vận tốc thay đổi trong khoảng 10:10:100 km/h, ở trạng thái đầy tải.

3. TIÊU CHÍ ĐÁNH GIÁ

3.1. Hệ số tải trọng động DLC

Hệ số tải trọng động tính theo công thức sau [10,11]:

$$DLC = \frac{\sigma}{F_{mean}} \quad (9)$$

Trong đó:

- σ - Độ lệch chuẩn của lực trên trục bánh xe, $\sigma = \text{RMS}(F_{z,dyn})$ với $F_{z,dyn}$ là tải trọng động.

- F_{mean} - Lực tính trên trục bánh xe, $F_{mean} = F_{zt}$.

DLC thường được sử dụng để đánh giá tải trọng động với kích động ngẫu nhiên. Giá trị DLC nằm trong dải 0,05 đến 0,3 trong điều kiện hoạt động bình thường [4].

3.2. Hệ số áp lực đường động DLSF

Hệ số áp lực đường động DLSF được sử dụng khi đánh giá ảnh hưởng của tải trọng động đối với đường, được tính theo công thức sau [12]:

$$DLSF = 1 + 6DLC^2 + 3DLC^4 \quad (10)$$

Hệ số áp lực đường động DLSF đặc trưng cho sự phá hủy đường, tỷ lệ bậc 4 với hệ số tải trọng động. Theo một số nghiên cứu [13], $DLSF \leq 1,56$ là giới hạn thân thiện với đường để thiết lập các thông số của xe. DLC và DLSF là hai tiêu chí được sử dụng để đánh giá tính thân thiện với đường.

3.3. Hệ số tải trọng k_{dmin} , k_{dmax}

Khi cần đánh giá tương tác tải trọng động giữa xe và đường, có thể sử dụng k_{dmin} và k_{dmax} được định nghĩa như sau [13]:

$$k_{dmin} = 1 + \frac{\min F_{z,dyn}}{F_{zt}}; \quad 0 \leq k_{dmin} \leq 1 \quad (11)$$

Một số giới hạn đối với k_{dmin} như sau [13]:

- $k_{dmin} = 0,5$: Giới hạn cảnh báo;

- $k_{dmin} = 0$: Giới hạn can thiệp, xảy ra hiện tượng tách bánh, ($F_z = 0$).

Ở hành trình trả, tải trọng động giảm, dẫn tới giảm thành phần phản lực bánh xe, ảnh hưởng đến khả năng truyền lực và tính dẫn hướng. Do đó, k_{dmin} được sử dụng làm tiêu chí đánh giá an toàn động lực học của xe.

Đối với kích động ngẫu nhiên, k_{dmax} được tính như sau:

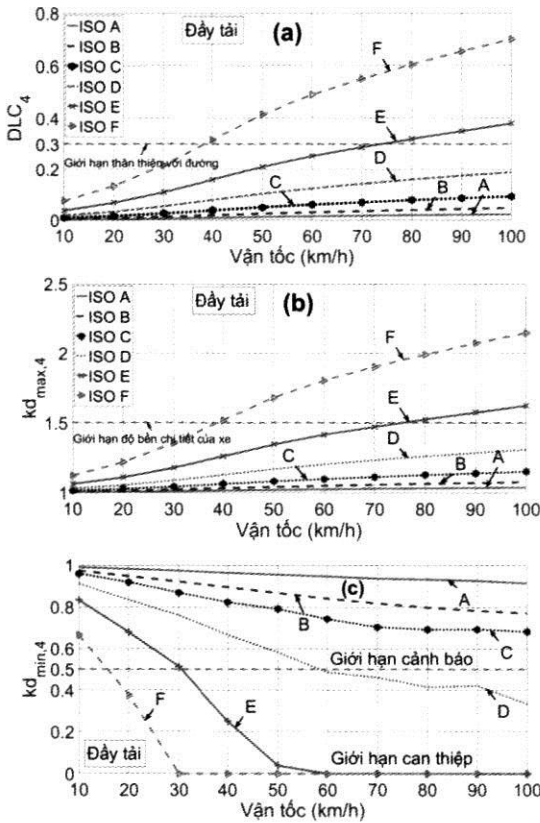
$$k_{dmax} = 1 + \frac{1,64 \times \text{RMS}(F_{z,dyn})}{F_{zt}} \quad (12)$$

Ở hành trình nén, tải trọng động tăng, dẫn tới tăng thành phần phản lực bánh xe. Một mặt tác động xuống đường gây ra các hư hỏng đường, mặt khác tác động vào

xe ảnh hưởng đến các chi tiết của xe. Theo một số công trình nghiên cứu [13], $k_{dmax} \leq 1,5$ là giới hạn đảm bảo độ bền chi tiết của xe.

4. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

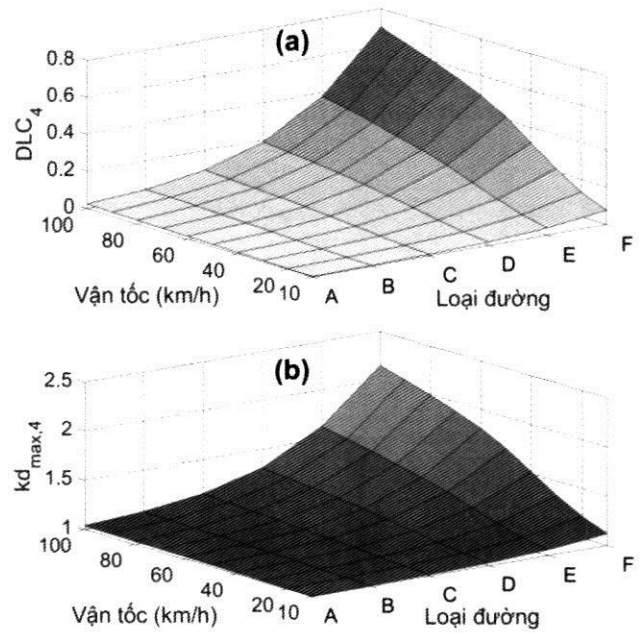
Đồ thị DLC, k_{dmax} , k_{dmin} của trục 4 điển hình, được biểu diễn theo vận tốc trên các loại đường từ A đến F như Hình 4.1.



Hình 4.1: DLC, k_{dmax} , k_{dmin} trục 4 theo vận tốc, loại đường

Dựa trên kết quả tại đồ thị Hình 4.1a cho thấy, khi tăng vận tốc DLC tăng, khi cấp độ đường thay đổi từ A đến F (xấu đi) DLC cũng tăng. Mức độ thân thiện với đường được đánh giá thông qua hai tiêu chí là DLC, DLSF, với các giới hạn $DLC \leq 0,3$, $DLSF \leq 1,56$ sẽ xác định được các vận tốc an toàn giới hạn. Đối với k_{dmax} (Hình 4.1b), sẽ có quy luật thay đổi tương tự DLC theo công thức (12), giá trị k_{dmax} luôn lớn hơn hoặc bằng 1. Tiêu chí k_{dmax} được sử dụng để đánh giá độ bền chi tiết của xe, $k_{dmax} \leq 1,5$ được sử dụng để xác định vận tốc an toàn giới hạn. An toàn động lực học của xe đánh giá theo tiêu chí k_{dmin} , luôn nhỏ hơn hoặc bằng 1. Từ đồ thị Hình 4.1c có thể thấy khi tăng vận tốc, k_{dmin} giảm, khi cấp độ đường thay đổi từ A đến F (xấu đi) k_{dmin} cũng giảm. Khi k_{dmin} giảm đến 0,5 là giới hạn cảnh báo, khi $k_{dmin} = 0$ xảy ra hiện tượng tách bánh là giới hạn can thiệp, khi đó cần giảm vận tốc xe hoặc nâng cấp đường. Với hai giới hạn này của k_{dmin} sẽ xác định được các vận tốc an toàn giới hạn.

Để hiểu rõ hơn về quy luật ảnh hưởng, đồ thị 3D biểu diễn DLC, k_{dmax} , k_{dmin} được thiết lập như Hình 4.2. DLC và k_{dmax} có cùng quy luật (Hình 4.2a, 4.2b). Từ đồ thị k_{dmin} , có thể thấy xuất hiện vùng tách bánh giữa đường loại E và F, ở vận tốc từ 60 - 100 km/h.



Hình 4.2: Đồ thị 3D biểu diễn DLC, k_{dmax} , k_{dmin} trục 4 theo vận tốc, loại đường

Vận tốc an toàn giới hạn theo loại đường, được xác định theo 4 tiêu chí (mục 3) như Bảng 4.1.

Bảng 4.1. Vận tốc an toàn giới hạn theo loại đường

Loại đường	v_{max} (km/h) (theo DLC)	v_{max} (km/h) (theo DLSF)	v_{max} (km/h) (theo k_{dmax})	v_{max} (km/h) (theo k_{dmin})	
				Giới hạn cảnh báo	Giới hạn can thiệp
A	Không giới hạn	Không giới hạn	Không giới hạn	Không giới hạn	Không giới hạn
B	Không giới hạn	Không giới hạn	Không giới hạn	Không giới hạn	Không giới hạn
C	Không giới hạn	Không giới hạn	Không giới hạn	Không giới hạn	Không giới hạn
D	Không giới hạn	Không giới hạn	Không giới hạn	50	Không giới hạn
E	70	70	70	20	30
F	30	30	30	10	20

Ghi chú: Giá trị vận tốc "không giới hạn" có nghĩa là xe có thể chạy đến hết dài vận tốc khảo sát (100 km/h).

Từ kết quả tại Bảng 4.1 có thể thấy rằng, ở trường hợp đầy tải, đối với đường loại A, B, C, không bị giới hạn vận tốc, xe có thể chạy đến 100 km/h vẫn đảm bảo các tiêu chí thân thiện với đường, đảm bảo độ bền chi tiết và an toàn động lực học của xe. Với đường loại D chỉ nên chạy với vận tốc không quá 50 km/h, đường loại E, F đã xuất hiện hiện tượng tách bánh ngay cả với vận tốc thấp (20 km/h). Rõ ràng, vận tốc an toàn giới hạn khá cao khi xét theo tiêu chí DLC, DLSF, k_{dmax} , do hệ thống treo khí nén có khả năng giảm tải trọng động [6] nên giá trị DLC trên các loại đường A, B, C nhỏ, vận tốc xe có thể tăng cao mà vẫn đảm bảo giới hạn của DLC. Vùng tách bánh xuất hiện trên đường loại E, F với vận tốc trên 30 km/h cho thấy khả năng

thu hẹp vùng tách bánh, đây là một ưu điểm của hệ thống treo khí nén [14].

5. KẾT LUẬN

Trong quá trình vận hành, việc xác định vận tốc an toàn giới hạn theo loại đường là cần thiết, để đảm bảo tính thân thiện với đường, độ bền chi tiết và an toàn động lực học của xe. Vận tốc giới hạn này được xác định thông qua giới hạn của 4 tiêu chí đánh giá: DLC, DLSF, k_{dmax} , k_{dmin} .

Kết quả mô phỏng chỉ ra rằng, với đường loại A, B, C, xe có thể chạy đến 100 km/h vẫn đảm bảo các tiêu chí thân thiện với đường, đảm bảo độ bền chi tiết và an toàn động lực học của xe. Với đường loại D xe chỉ nên chạy với vận tốc không quá 50 km/h; đường loại E, F đã xuất hiện hiện tượng tách bánh, xe chỉ nên chạy với vận tốc không quá 20 km/h.

Các kết quả khảo sát này có thể làm cơ sở nghiên cứu về phanh, tăng tốc khi xảy ra hiện tượng tách bánh, đồng thời có thể khuyến cáo cho người sử dụng nên chạy xe ở vận tốc phù hợp với từng loại đường.

Tài liệu tham khảo

- [1]. Bộ GTVT (2015), *Thông tư số 46/2015/TT-BGTVT ngày 07/9/2015 của Bộ trưởng Bộ GTVT quy định về tải trọng, khổ giới hạn của đường bộ; lưu hành xe quá tải trọng, xe quá khổ giới hạn, xe bánh xích trên đường bộ; vận chuyển hàng siêu trường, siêu trọng; giới hạn xếp hàng hóa trên phương tiện giao thông đường bộ khi tham gia giao thông trên đường bộ.*
- [2]. Nguyễn Khắc Trai (2006), *Cơ sở thiết kế ô tô*, NXB. GTVT, Hà Nội, tr.263.
- [3]. Phan Tuấn Kiệt (2018), *Nghiên cứu xác định tải trọng động thẳng đứng của đoàn xe lên mặt đường*, Luận án Tiến sĩ kỹ thuật, Trường Đại học Bách khoa Hà Nội.
- [4]. Rosnawati Buhari, Munzilah Md Rohani and Mohd Ezree Abdullah (2018), *Dynamic Load Coefficient of Tyre Forces from Truck Axles*, Applied Mechanics and Materials Vols.405-408 (2013), pp.1900-1911.
- [5]. Le Van Quynh (2017), *Influence of semi-trailer truck operating condition on road surface friendliness*, JVE International Ltd. Vibroengineering PROCEDIA vol.16, doi <https://doi.org/10.21595/vp.2017.19321>.
- [6]. Vũ Thành Niêm, Lưu Văn Tuấn, Đặng Việt Hà (2020), *Nghiên cứu cải thiện hệ thống treo xe SMRM theo hướng giảm tải trọng động*, Tạp chí GTVT, số tháng 9.
- [7]. Mats Berg (1999), *A Three-dimensional airsprung model with friction and orifice damping*, KTH, Stockholm, Sweden.
- [8]. ISO 8608:2016 (2016), *Mechanical vibration - Road surface profiles - Reporting of measured data.*
- [9]. Võ Văn Hường (2014), *Động lực học ô tô*, NXB. Giáo dục Việt Nam, tr.74-78.
- [10]. Lloyd Davys, Jonathan Bunker (2008), *Load-sharing in heavy vehicle suspensions-New metrics for old*, Queensland University of technology.
- [11]. Sweatman P F (1983), *A study of dynamic wheel forces in axle group suspensions of heavy vehicles*, Australian Road Research Board, Special Report SR27.

[12]. M.J. Pable, M.M. Gawture, P. Seshu (2007), *A review Road-friendly suspensions, 13th National Conference on Mechanisms and Machines (NaCoMM07)*, IISc, Bangalore, India.

[13]. Le Van Quynh, Zhang Jianrun, Lui Xiaobo, Wang Yuan (2011), *Nonlinear dynamic analysis of interaction between vehicle and road surface for 5-axle heavy truck*, Journal of Southeast University (English Edition), vol.27, no.4, pp.405-409, doi:10.3969/j.issn.1003-7985.2011.04.012.

[14]. Vũ Thành Niêm, Lưu Văn Tuấn, Đặng Việt Hà (2020), *So sánh thời gian tách bánh của sơ-mi rơ-moóc sử dụng hệ thống treo khí nén và sơ-mi rơ-moóc sử dụng nhíp với kích động dạng xung cosin*, Tạp chí GTVT, số tháng 10.

Ngày nhận bài: 18/11/2020

Ngày chấp nhận đăng: 12/12/2020

Người phản biện: PGS. TS. Đào Mạnh Hùng

PGS. TS. Đàm Hoàng Phúc