

PHÂN TÍCH ĐỘNG LỰC HỌC THEO PHƯƠNG THẲNG ĐỨNG CỦA TỔ HỢP XE ĐẦU KÉO – SƠ MI RƠ MOỐC BẰNG MATLAB/SIMMECHANICS

VERTICAL DYNAMIC ANALYSIS OF TRACTOR SEMI-TRAILER BY MATLAB/SIMMECHANICS

Trần Hữu Nhân¹, Trần Quang Lâm², Trần Đức³, Nguyễn Văn Nguyễn⁴

^{1,2,3}Bộ môn Kỹ thuật Ô tô - Máy động lực, Khoa Kỹ thuật Giao thông, Trường ĐH Bách khoa,

⁴Xí Nghiệp Cơ Khí Ô tô An Lạc,

thnhan@hcmut.edu.vn, lamtq1910@gmail.com,

ductran_gl@gmail.com, nguyenvanxuan.hcmut@gmail.com

Tóm tắt: Động lực học theo phương thẳng đứng của tổ hợp xe đầu kéo và sơ mi rơ moóc được phân tích bằng Matlab - Simmechanics. Tổ hợp xe đầu kéo Hyundai và sơ mi rơ moóc loại 30 tấn được mô hình hóa trong mặt phẳng dọc của xe (Oxz). Từ đó, mô hình có mười bậc tự do với tám phần tử khối lượng liên kết được sử dụng để tính toán các thông số động lực học theo phương thẳng đứng. Hai tính năng động lực học là an toàn chuyển động và sự êm dịu chuyển động của tổ hợp xe được phân tích lần lượt khi thực hiện tính toán trong điều kiện tổ hợp xe chuyển động qua biên dạng mấp mô mặt đường theo tiêu chuẩn IRC-99-1988 và mấp mô ngẫu nhiên của mặt đường với các chủng loại đường khác nhau. Kết quả tính toán làm cơ sở để thiết kế hệ thống treo nhằm nâng cao tính năng an toàn và sự êm dịu chuyển động của tổ hợp xe đầu kéo và sơ mi rơ moóc.

Từ khóa: Động lực học theo phương thẳng đứng; tổ hợp xe đầu kéo và sơ mi rơ moóc; sim-mechanics.

Chỉ số phân loại: 2.1

Abstract: Vertical dynamics of a tractor & semi-trailer has been analyzed by Matlab-Simmechanics. The combined vehicle of Hyundai tractor and 30-ton semi-trailer has been modeled in the side plane of the vehicle (Oxz-plane). From this, the model has 10 degrees of freedom (DOFs) with 8 linked rigid bodies has been used to calculate the vertical dynamic parameters. Two dynamic features of safety and comfort of the vehicle have been analyzed respectively, corresponding to two different types of road profiles: the IRC-99-88 standard and the random one with different classifications. The calculated results could be considered as the basis for the tractor semi-trailer's suspension design to improve the safety and comfort.

Keywords: Vertical dynamics; tractor semi-trailer; sim-mechanics.

Classification number: 2.1

1. Giới thiệu

Mô hình tính toán động lực học theo phương thẳng đứng dạng toàn xe được xây dựng bằng cách kết hợp hai mô hình dạng $\frac{1}{2}$ [1]. Bên cạnh chuyển động tịnh tiến theo phương thẳng đứng và chuyển động lắc Pitch, mô hình toàn xe cho phép khảo sát cả chuyển động lắc quanh trục dọc trong mặt phẳng ngang (Roll) của xe.

Các nghiên cứu này được thực hiện chủ yếu dựa trên việc tính toán các mô hình toán học. Tuy vậy, có thể thấy sự phức tạp của các mô hình toán học, yêu cầu về kỹ năng lập trình tính toán,... tất cả là rào cản chính yếu trong bài toán khảo sát động lực học theo phương thẳng đứng của ô tô hiện nay.

Mô hình toán học cho bài toán động lực học theo phương thẳng đứng đối với tổ hợp xe đầu kéo – sơ mi rơ moóc lại càng phức tạp hơn rất nhiều. Vì vậy, trong bài báo này Matlab - Simmechanics được sử dụng để thực hiện tính toán. Trong đó, sự phức tạp của mô hình toán học được thay bằng mô hình vật lý đơn giản hơn.

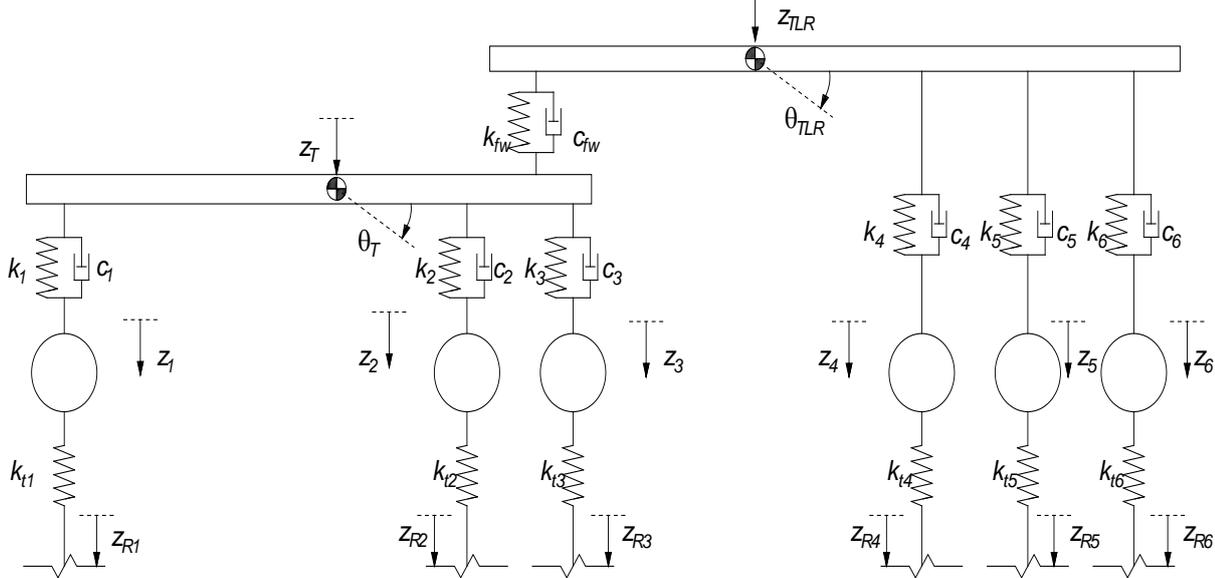
2. Mô hình tính toán tổ hợp xe đầu kéo – sơ mi rơ moóc

2.1. Mô hình động lực học tổ hợp xe đầu kéo – sơ mi rơ moóc

Xe đầu kéo Hyundai HD700 và sơ mi rơ moóc loại ba trục có tải trọng 30 tấn được sử dụng để phân tích các thông số động lực học theo phương thẳng đứng của tổ hợp xe. Mô hình động lực học theo phương thẳng đứng

tổ hợp xe trong mặt phẳng dọc được thể hiện ở hình 1. Mô hình có mười bậc tự do, tám phần tử khối lượng liên kết với nhau bởi các phần tử đàn hồi và giảm chấn. Trong đó, mỗi phần tử khối lượng xe đầu kéo (m_T) và sơ mi rơ moóc (m_{TLR}) có hai bậc tự do lần lượt là chuyển động tịnh tiến theo phương thẳng đứng (z_T, z_{TLR}) và chuyển động lắc quanh trục ngang trong mặt phẳng dọc của tổ hợp xe (θ_T, θ_{TLR}). Còn lại là sáu phần tử khối lượng ($m_i, i = 1 \div 6$) của các thành phần khối

lượng không được treo của cả xe đầu kéo – sơ mi rơ moóc, mỗi phần tử khối lượng có một bậc tự do là chuyển động tịnh tiến theo phương thẳng đứng ($z_i, i = 1 \div 6$). Các phần tử đàn hồi và giảm chấn được sử dụng để mô hình hóa các phần tử lớp xe ($k_{ti}, i = 1 \div 6$), hệ thống treo (k_i , và $c_i, i = 1 \div 6$), chốt kéo – liên kết đầu kéo - sơ mi rơ moóc (k_{fw} , và c_{fw}). Mấp mô mặt đường tại vị trí tiếp xúc các bánh xe với mặt đường là ngoại lực tác dụng ($z_{Ri}, i = 1 \div 6$).



Hình 1. Mô hình động lực học theo phương thẳng đứng trong mặt phẳng dọc tổ hợp xe đầu kéo – sơ mi rơ moóc ba trục.

2.2. Mô hình Matlab - Simmechanics

Mô hình toán học là hệ phương trình có mười phương trình vi phân cấp hai tương ứng với mười bậc tự do trong mô hình ở hình 1. Để việc tính toán đơn giản và dễ dàng hơn, Matlab - Simmechanics được sử dụng. Mô hình bao gồm các phần tử khối lượng, khớp liên kết mô tả ràng buộc chuyển động tương ứng, cùng với các thông số khối lượng, đàn hồi và giảm chấn tích hợp trong các phần tử. Để mô tả các tính hiệu mấp mô mặt đường Matlab - Simulink được kết hợp, các kết quả tính toán thu được qua các phần tử cảm biến. Tất cả được thể hiện trong mô hình.

3. Thông số tính toán của tổ hợp xe đầu kéo – sơ mi rơ moóc

3.1. Thông số tính toán của tổ hợp xe

Các thông số sử dụng tính toán được xác định theo xe thực tế và cơ sở xác định giá trị các thông số theo [2-5].

3.2. Thông số mặt đường

3.2.1. Mấp mô mặt đường dạng bán bình phương hàm sin

Mấp mô mặt đường theo tiêu chuẩn IRC-99-1988 [6], là mấp mô dạng bán bình phương hàm sin với đường cao tốc có chiều dài mấp mô $d_1 = 3,7 (m)$ và chiều cao mấp mô $d_2 = 0,01 (m)$; đường phố tiêu chuẩn với chiều dài mấp mô $d_1 = 0,3(m)$ và chiều cao mấp mô $d_2 = 0,01(m)$.

3.2.2. Mặt đường ngẫu nhiên

Mấp mô mặt đường ngẫu nhiên theo tiêu chuẩn ISO 8608 có phương pháp để đánh giá chất lượng từng loại đường dựa trên phổ công suất (Power Spectral Density - PSD).

Theo tiêu chuẩn ISO 8608, mặt đường có mấp mô ngẫu nhiên được phân chia thành các loại khác nhau ký hiệu từ A đến E [8].

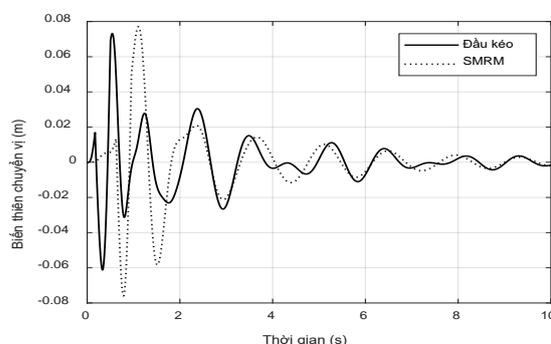
4. Kết quả và phân tích

4.1. Mấp mô mặt đường dạng bán bình phương hàm sin

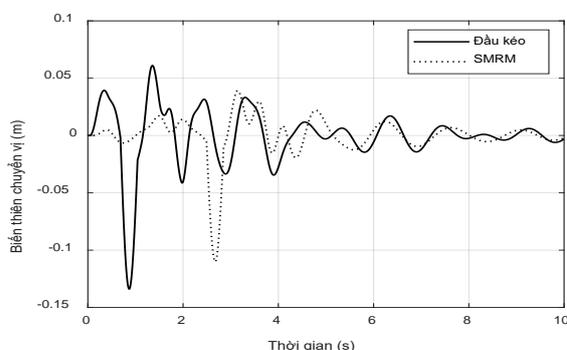
Biến thiên chuyển vị theo thời gian với đường cao tốc và đường nội ô trong thành phố theo tiêu chuẩn IRC-99-1988 được xác định, với vận tốc chuyển động của xe được chọn, điển hình là 40 (km/h) với đường cao tốc và 10 (km/h) với đường nội ô thành phố.

4.1.1. Chuyển vị tương đối

Chuyển vị tương đối tịnh tiến theo phương thẳng đứng tại vị trí trọng tâm của xe đầu kéo – sơ mi rơ moóc được thể hiện lần lượt ở hình 2 và 3 lần lượt với đường cao tốc và thành phố.



Hình 2. Biến thiên chuyển vị tương đối theo thời gian với đường cao tốc.



Hình 3. Biến thiên chuyển vị tương đối theo thời gian với đường nội ô thành phố.

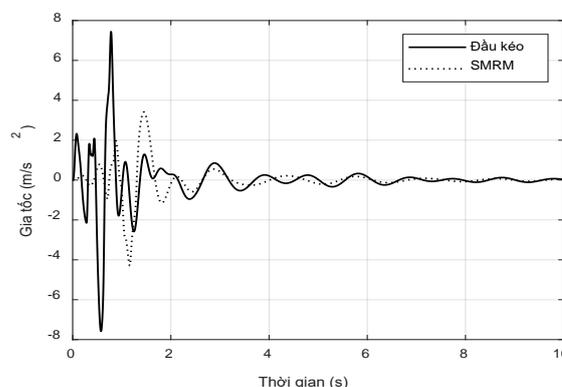
Khoảng hành trình lớn nhất cho phép hệ thống treo hoạt động khi chuyển động qua bậc là 0,127(m) [6]. Trong khi với bộ phận đàn hồi dạng bầu hơi lớn thì khoảng hành trình làm việc cho phép thông thường khoảng 0,25 (m), [2].

Như vậy, với kết quả tính toán thu được cụ thể đạt giá trị chuyển vị tương đối lớn nhất khoảng 0,2 (m) với xe đầu kéo chuyển

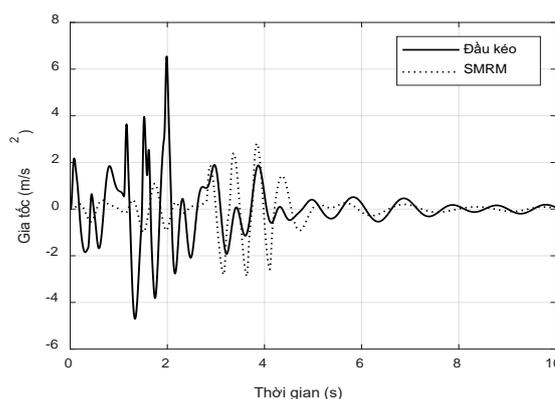
động với đường thành phố ở hình 3 đạt yêu cầu theo chuẩn đúng IRC-99-1988.

4.1.2. Gia tốc

Biến thiên gia tốc tịnh tiến theo thời gian với đường cao tốc và thành phố tại vị trí trọng tâm xe đầu kéo và sơ mi rơ moóc được thể hiện ở hình 4 và hình 5.



Hình 4. Biến thiên gia tốc tịnh tiến theo thời gian với đường cao tốc.



Hình 5. Biến thiên gia tốc tịnh tiến theo thời gian với đường thành phố.

Các bộ phận đàn hồi, giảm chấn hệ thống treo có khả năng hấp thụ gia tốc. Với yêu cầu giá trị trung bình bình phương đạt khoảng $\frac{1}{2}$ gia tốc trọng trường $g = 9,81$ (m/s^2), và khi đó không xảy ra điều kiện chạm đến vị trí giới hạn hành trình hệ thống treo [6]. Giá trị lớn nhất của gia tốc khi xe chuyển động ở đường thành phố so với đường cao tốc là gần bằng nhau.

Xe đầu kéo đạt gia tốc cực đại cao hơn khoảng hai lần sơ mi rơ moóc. Giá trị trung bình bình phương gia tốc xe đầu kéo là: 1,25 và 1,29 (m/s^2) và của sơ mi rơ moóc là: 0,74 và 0,75 (m/s^2) lần lượt với đường cao tốc và đường thành phố.

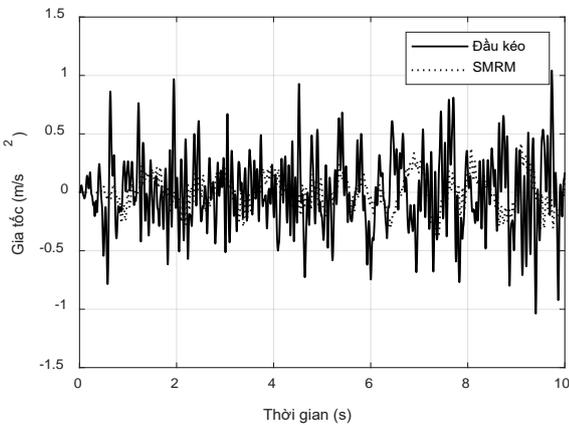
Giá trị lớn nhất 12,7 % g. Điều này cho thấy, sự an toàn vẫn được đảm bảo.

4.2. Mấp mô mặt đường dạng ngẫu nhiên

Để phân tích độ êm dịu chuyển động của xe, ta tính toán trong trường hợp xe chuyển động với mặt đường có biên dạng mấp mô ngẫu nhiên theo tiêu chuẩn ISO 8608, [8].

4.2.1. Gia tốc theo thời gian

Biến thiên gia tốc tại vị trí tọa độ trọng tâm của xe đầu kéo – sơ mi rơ moóc theo thời gian được khảo sát khi xe chuyển động với $v = 60$ (km/h) trên mặt đường ngẫu nhiên loại A, đường nhựa tốt được thể hiện ở hình 6.

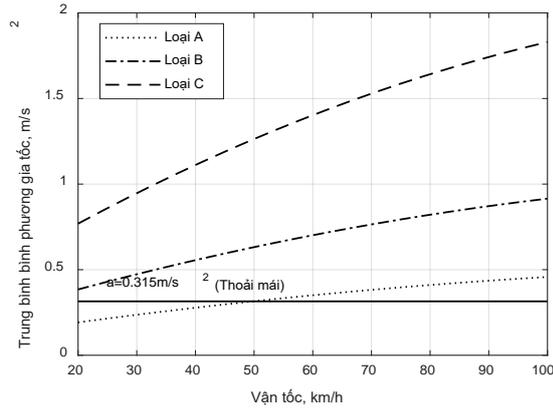


Hình 6. Biến thiên gia tốc theo thời gian với mặt đường loại A.

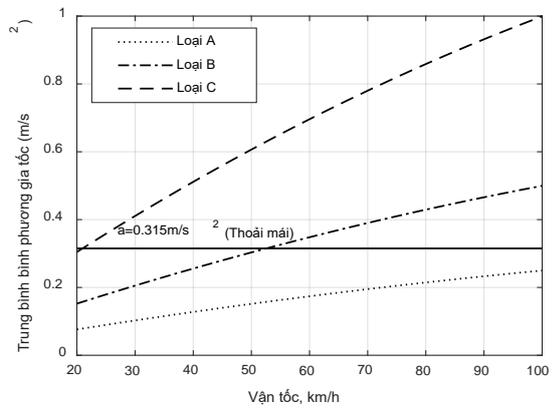
Giá trị trung bình bình phương của gia tốc trong trường hợp này là thông số rất quan trọng được sử dụng để so sánh chuẩn và đánh giá độ êm dịu của xe được thiết kế với hệ thống treo có thông số được sử dụng để tính toán. Với mặt đường ngẫu nhiên loại A, đường nhựa tốt thì sự biến thiên gia tốc của sơ mi rơ moóc nhỏ hơn so với đầu kéo, hình 6.

4.2.2. Trung bình bình phương gia tốc theo vận tốc

Để phân tích sự ảnh hưởng của chất lượng mặt đường đến tính năng êm dịu chuyển động, ta thực hiện tính toán giá trị trung bình bình phương của gia tốc, trong trường hợp xe chuyển động trong khoảng vận tốc làm việc thường xuyên từ 20 - 100 (km/h) với mặt đường ngẫu nhiên các cấp A, B, C theo tiêu chuẩn ISO 8608 [8].



Hình 7. Trung bình bình phương gia tốc của xe đầu kéo theo vận tốc với các mặt đường loại A, B, C.



Hình 8. Trung bình bình phương gia tốc của sơ mi rơ moóc theo vận tốc với các mặt đường loại A, B, C.

Kết quả cho thấy trung bình bình phương gia tốc tại vị trí trọng tâm của xe đầu kéo - sơ mi rơ moóc được thể hiện ở hình 7 và 8. Trung bình bình phương gia tốc tăng nhanh (mức độ thoải mái giảm) so với sự tăng dần của vận tốc. Mức độ tăng tỉ lệ với độ gồ ghề của mặt đường (tương ứng với cấp loại A, B, C).

Trong khoảng vận tốc phổ biến từ 80÷100 km/h trung bình bình phương gia tốc của trọng tâm xe đầu kéo và sơ mi rơ moóc có giá trị lần lượt khoảng 0,4; 0,8; 1,6 m/s² và 0,2; 0,4; 0,8 m/s² tương ứng với các cấp đường A, B, C.

Như vậy, với thông số hệ thống treo hiện hữu thì độ êm dịu sơ mi rơ moóc tốt hơn xe đầu kéo. Và với đường loại A thì giá trị trung bình bình phương gia tốc của đoàn xe đạt tiêu chuẩn êm dịu ISO 8648.

5. Kết luận

Mô hình động lực học trong mặt phẳng dọc của tổ hợp xe đầu kéo – sơ mi rơ moóc

có mười bậc tự do được sử dụng và triển khai tính toán bằng Matlab - Simmechanics. Hai tính năng động lực học theo phương thẳng đứng của tổ hợp xe đầu kéo – sơ mi rơ moóc là an toàn chuyển động theo tiêu chuẩn đường IRC-99-1988, và sự êm dịu chuyển động theo tiêu chuẩn ISO 8608 được phân tích cho thấy:

- Chuyển vị tương đối bộ phận đàn hồi hệ thống treo và gia tốc của xe đầu kéo và sơ mi rơ moóc nằm trong giới hạn làm việc thông thường của bầu khí nén khi kiểm tra an toàn theo chuẩn đường IRC 99-1988;

- Xe đầu kéo và sơ mi rơ moóc đạt chuẩn êm dịu khi chuyển động trên đường nhựa loại tốt A và B khi vận tốc chuyển động nhỏ hơn 60 (km/h) và trong giới hạn vận tốc cao hơn từ 80 - 100 (km/h) thì độ êm dịu giảm xuống vì chỉ còn thỏa mãn với đường loại A theo chuẩn ISO 8608.

Bài báo bước đầu cho thấy khả năng ứng dụng Matlab - Simmechanics trong bài toán động lực học dao động ô tô, đặc biệt là đối với các mô hình tính toán phức tạp có nhiều bậc tự do. Kết quả có thể là cơ sở để thực hiện thiết kế cải tiến, hay điều chỉnh thông số các bộ phận hệ thống treo hiện hữu theo từng điều kiện làm việc thực tế cụ thể.

Tuy nhiên, để có nâng cao tính ứng dụng thực tiễn, các thông số sử dụng tính toán của tổ hợp xe cần được xác định chính xác hơn bằng phương pháp thực nghiệm □

Lời cảm ơn

Nghiên cứu được tài trợ bởi Trường Đại học Bách Khoa – ĐHQG-HCM trong khuôn khổ Đề tài mã số T-KTGT-2017-63.

Tài liệu tham khảo

- [1]. Zhu Q and Ishitobi M (2006), Chaotic vibration of a nonlinear full-vehicle model, *International Journal of Solids and Structures*, 43: 747-759.
- [2] Firestone Industrial Products Company. *Airride Design Guide*, 37-61.
- [3] H. Keith Brewer et al (2006), *The Pneumatic Tire – NHTSA*, 2/2006, p.194.
- [4] Hyundai Motor Company (2004), *Medium & Heavy Duty Trucks Catalogue*.
- [5] Công ty cổ phần thương mại cơ khí Tân Thanh (2016), *D33-XA-01 Sơ mi Rơ moóc Xương Catalogue*.
- [6] The Indian Road Congress, *IRC-99-1988: "Tentative guidelines on the provision of speed breakers for control of vehicular speeds on minor roads"*.
- [7] ISO 8608 (1995), *Mechanical vibration, road surface profiles. Reporting of Measured Data*.
- [8] A. Mitra, et.al, *Simulation and Analysis of Full Car Model for various Road profile on a analytically validated MATLAB/SIMULINK model*. IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering (IOSR-JMCE), ISSN(e) : 2278-1684, ISSN(p) : 2320-334X, PP : 22-33, www.iosrjournals.org.
- [9] Rill, Georg, *Road Vehicle Dynamics : Fundamentals and Modeling*.

Ngày nhận bài: 15/11/2018

Ngày chuyển phản biện: 19/11/2018

Ngày hoàn thành sửa bài: 12/12/2018

Ngày chấp nhận đăng: 20/12/2018