

MÔ PHỎNG, ĐÁNH GIÁ HIỆU QUẢ DẬP TẮT DAO ĐỘNG CỦA GIẢM CHẤN TỪ TRƯỜNG TRÊN MÔ HÌNH HỆ THỐNG TREO 1/4 SIMULATING AND EVALUATING THE OSCILLATION KILLER EFFICIENCY OF THE MAGNETO-RHEOLOGICAL DAMPERS IN THE QUARTER-CAR MODEL

NGUYỄN TRUNG KIÊN^{1,2,*}, ĐÀM HOÀNG PHÚC¹, LẠI NĂNG VŨ³

¹Viện Cơ khí động lực, Trường Đại học Bách khoa Hà Nội

²Khoa Cơ khí, Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Nam Định

³Cục Xe máy, Bộ Quốc phòng

*Email liên hệ: kien.nguyentrungspkt@gmail.com

Tóm tắt

Bài báo tập trung phân tích và so sánh đặc tính làm việc của giảm chấn từ trường đối với hai mô hình tham số Dahl và Bou-wen. Việc xác định các thông số mô phỏng trên hai mô hình Dahl và Bou-wen được thực hiện thủ công, đánh giá tính chính xác các thông số này bằng cách so sánh với thực nghiệm xác định đặc tính của giảm chấn trên thiết bị đo chuyên dụng. Ngoài ra, bài báo còn đánh giá hiệu quả dập tắt dao động của giảm chấn từ trường trên mô hình hệ thống treo 1/4 khi sử dụng đầu vào là mấp mô mặt đường dạng bậc. Từ đó, nhóm tác giả đưa ra mô hình tham số sử dụng trong mô phỏng hoạt động của hệ thống treo sử dụng giảm chấn từ trường.

Từ khóa: Giảm chấn từ trường, mô hình Dahl, mô hình Bou-wen, hệ thống treo 1/4.

Abstract

This paper analyzes and compares the features of magnetic dampers using Dahl and Bouc-Wen models. The simulated parametric identification of the Dahl and Bouc-Wen is made manually. The accuracy of these parameters is evaluated by comparing with the experiment data. In addition, the paper evaluates the oscillation killer efficiency of the magnetic damper in the 1/4 suspension system model with step input. Then, the parametric model in the simulation of suspension system using magneto-rheological dampers will be demonstrated.

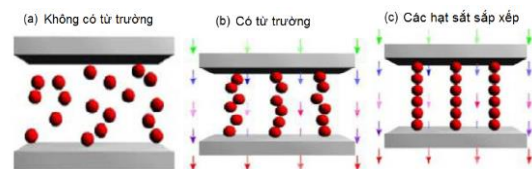
Keywords: Magneto-rheological dampers, Dahl model, Bouc-Wen model, quarter-car model.

1. Mở đầu

Một số vật liệu thông minh có khả năng chuyển từ thể lỏng sang thể rắn gần như ngay lập tức khi đặt gần nam châm. Chất lỏng Magneto Rheological (MR) là

loại chất lỏng lưu biến trong đó các đặc tính của nó được kiểm soát bằng cách thay đổi từ tính kích thích bên ngoài. Việc phát hiện ra chất lỏng MR được công nhận bởi Rabinow (1948) tại Cục Tiêu chuẩn Quốc gia Hoa Kỳ. Các hạt trong chất lỏng MR có phạm vi từ 3÷5 micron, là các hạt từ tính (chủ yếu là sắt) lơ lửng trong chất lỏng như dầu khoáng, dầu tổng hợp, nước hoặc etylen glycol,... Chất lỏng đóng vai trò là môi trường phân tán, đảm bảo sự đồng nhất của các hạt trong chất lỏng. Các chất phụ gia (bao gồm chất ổn định và chất hoạt động bề mặt) cũng được sử dụng trong chất lỏng MR để ngăn chặn sự lắng xuống do tác dụng của trọng trường và thúc đẩy sự ổn định của các hạt, các chất ổn định để giữ các hạt lơ lửng trong chất lỏng.

Khi không có từ trường xuyên qua chất lỏng MR, các hạt màu sẽ phân tán ngẫu nhiên trong môi trường (Hình 1a). Khi có từ trường, các hạt bắt đầu chuyển động để tự sắp xếp dọc theo đường của từ thông. Hình 1b và Hình 1c cho thấy sự hình thành các chuỗi kim loại, tạo ra độ nhớt lớn hơn (Ashwani và Mangal, 2010a). Vì sự thay đổi này gần như xảy ra ngay lập tức, nên chất lỏng MR là giải pháp hiệu quả cho các ứng dụng điều khiển theo thời gian thực, như: giảm chấn, phanh, ly hợp, giá đỡ động cơ,...



Hình 1. Minh họa về sự hoạt động của chất lỏng MR

Việc nghiên cứu hoạt động của giảm chấn MR thực chất là quan sát vòng từ trễ trong các vật liệu từ tính, từ hóa hoặc chất lỏng lưu biến từ tính. Trong các nghiên cứu [1-5], chất lỏng MR sử dụng trong thiết kế bộ giảm chấn, các nghiên cứu này tập trung vào nghiên cứu mô hình tham số biểu diễn hoạt động của giảm chấn MR. Trong nghiên cứu [7], mô hình giảm

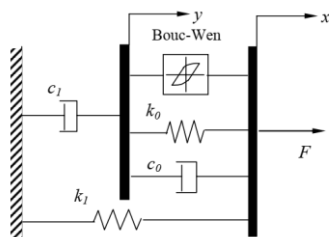
chấn MR được mô phỏng thông qua mô hình Bouc-Wen kết hợp với bộ điều khiển PID tự điều chỉnh cho mô hình hệ thống treo tích cực. Các nghiên cứu chưa có thực nghiệm xác định tính chính xác của mô hình mô phỏng, do xác định các tham số vòng trễ khá phức tạp, vì vậy cần thêm các nghiên cứu lý thuyết kết hợp thực nghiệm trong việc xác định đặc tính giảm chấn MR.

Trong bài báo này, chúng tôi đưa ra hai mô hình tham số trong mô phỏng giảm chấn MR, việc thử nghiệm và đánh giá các thông số vòng lặp trễ được thực hiện trên thiết bị xác định đặc tính giảm chấn, đối tượng sử dụng là giảm chấn MR của hệ thống treo trước, sử dụng trên ô tô Honda Acurra 2011 do tập đoàn BWI sản xuất. Ngoài ra, nhóm tác giả lựa chọn mô hình giảm chấn MR trong mô phỏng so sánh hiệu quả dập tắt của giảm chấn MR trên mô hình hệ thống treo ¼ dưới tác dụng của các dòng điện điều khiển khác nhau.

2. Mô hình giảm chấn MR

2.1. Mô hình giảm chấn MR theo Bouc-Wen

Giảm chấn MR theo Bouc-Wen là một tổ hợp bao gồm: phần tử lò xo (độ cứng k_l), giảm chấn thụ động (hệ số cản giảm chấn c_l) và mô hình tham số trễ Bouc-Wen, trong đó mô hình tham số trễ Bouc-Wen lại bao gồm các phần tử tương tự nhưng nhỏ hơn như: lò xo (độ cứng k_0), giảm chấn thụ động (hệ số cản giảm chấn c_0) và vòng lặp Bouc-Wen. Sơ đồ biểu diễn mô hình giảm chấn MR theo Bouc-Wen được biểu thị như Hình 2.



Hình 2. Mô hình Bouc-Wen

Phương trình xác định lực giảm chấn như sau:

$$F = c_l \dot{y} + k_l (x - x_0) \tag{1}$$

Với x : Dịch chuyển của giảm chấn; y : Dịch chuyển của giảm chấn theo vòng lặp Bouc-Wen; k_l : Đại diện cho độ cứng của bộ tích năng (phần tử khí); c_0 và c_l đại diện cho sự giảm chấn tương ứng được quan sát ở mức vận tốc cao và thấp, k_0 biểu thị kiểm soát độ cứng ở vận tốc lớn và x_0 dịch chuyển piston do ảnh hưởng của bộ tích năng, giá trị của vòng lặp trễ: γ, β, A, n .

Vận tốc \dot{y} được xác định theo công thức:

$$\dot{y} = \frac{1}{c_0 + c_l} (\alpha z + c_0 \dot{x} + k_0 (x - y)) \tag{2}$$

Mối quan hệ giữa các tham số α, c_0, c_l và điện áp điều khiển u là tuyến tính:

$$\begin{cases} \alpha = \alpha_a + \alpha_b u \\ c_0 = c_{0a} + c_{0b} u \\ c_l = c_{1a} + c_{1b} u \end{cases} \tag{3}$$

Biến z được xác định:

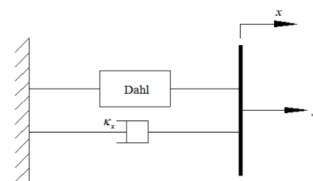
$$\dot{z} = -\gamma |\dot{x} - \dot{y}| |z|^{n-1} - \beta (\dot{x} - \dot{y}) |z|^n + A (\dot{x} - \dot{y})$$

Bảng 1. Thông số mô hình Bouc-Wen

Tham số	Giá trị	Đơn vị
k_0	300	N/m
$A; \beta; \gamma; n$	1; 0; 1; 2	
I	0.25	A
$C_{0a}; C_{0b}; \alpha_{0a}; \alpha_{0b}$	4400; 442; 10872; 9616	

2.2. Mô hình giảm chấn MR theo Dahl

Mô hình giảm chấn MR theo Dahl được Dahl đề xuất độc lập để mô tả diễn biến của ma sát và được Bouc (1971) xây dựng để thể hiện các hiện tượng trễ. Mô hình Dahl được sử dụng trong nghiên cứu này dựa trên mô hình được đề xuất bởi Aguirre et al (2008). Mô hình Dahl được thể hiện trong Hình 3.



Hình 3. Mô hình Dahl

Lực giảm chấn bị ảnh hưởng bởi các tham số hình dạng vòng lặp trễ (K, K_{wa}, K_{wb}) và hệ số trễ động (w). Phương trình (4) và (5) mô tả mô hình Dahl:

$$f(t) = \kappa_x [v(t)] \dot{x}(t) + \kappa_w [v(t)] w(t) \tag{4}$$

$$\dot{w}(t) = \rho [v(t)] (\dot{x}(t) - |\dot{x}(t)| w(t)) \tag{5}$$

Trong đó: $f(t)$: Lực giảm chấn; $\dot{x}(t)$: Vận tốc piston; $v(t)$: Dòng điện điều khiển; w : Mô tả diễn biến phi tuyến của giảm chấn; (t): Thời gian; hệ số ma sát nhớt K_x , hệ số ma sát khô K_w và tham số ρ phụ thuộc vào dòng điện.

Khi dịch chuyển đủ lớn thì $w(t) \approx 1$, (4) trở thành:

$$f(t) = \kappa_x [v(t)] \dot{x}_d(t) + \kappa_w [v(t)] \quad (6)$$

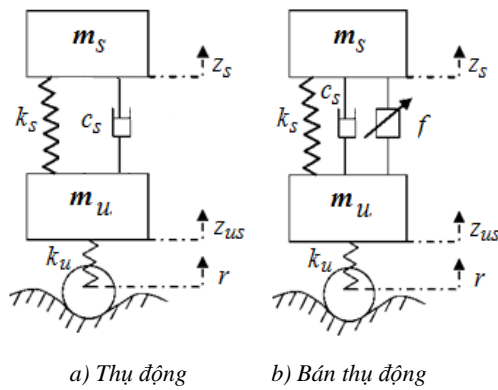
Bảng 2. Tham số trong mô hình Dahl

Tham số	Giá trị	Đơn vị
Dòng điện điều khiển: i	1	A
Tham số trễ: k, k_{wb}, k_{wb}, ρ	5; 80; 80; 1500	

3. Mô hình toán học hệ thống treo 1/4

3.1. Mô hình hệ thống treo 1/4

Mô hình hệ thống treo 1/4 thụ động và bán tích cực được thể hiện trên Hình 4. Các phương trình chuyển động của hệ thống được thể hiện theo công thức (7) và (8).



Hình 4. Mô hình hệ thống treo 1/4

a. Hệ thống treo thụ động

$$\begin{cases} m_s \ddot{z}_s + c_s (\dot{z}_s - \dot{z}_u) + k_s (z_s - z_u) = 0 \\ m_u \ddot{z}_u - c_s (\dot{z}_s - \dot{z}_u) - k_s (z_s - z_u) + k_u z_u = k_u r \end{cases} \quad (7)$$

b. Hệ thống treo bán tích cực

$$\begin{cases} m_s \ddot{z}_s + c_s (\dot{z}_s - \dot{z}_u) + k_s (z_s - z_u) = f \\ m_u \ddot{z}_u - c_s (\dot{z}_s - \dot{z}_u) - k_s (z_s - z_u) + k_u z_u = -f + k_u r \end{cases} \quad (8)$$

Trong đó: $z_s, \dot{z}_s, \ddot{z}_s$: Dịch chuyển, vận tốc và gia tốc của khối lượng được treo; $z_u, \dot{z}_u, \ddot{z}_u$: Dịch chuyển, vận tốc và gia tốc của khối lượng không được treo; k_s, k_u : Độ cứng của phần tử lò xo và độ cứng của lốp; c_s : hệ số cản giảm chấn; r : Biên dạng mặt đường; f : Lực do bộ điều khiển. Giá trị các thông số trong mô hình 1/4 được thể hiện trong Bảng 3.

Bảng 3. Thông số hệ thống treo 1/4

Tham số	Giá trị	Đơn vị
m_s	450	kg
m_u	48	kg
k_s	28500	N/m
k_t	293900	N/m
c_s	2700	Ns/m

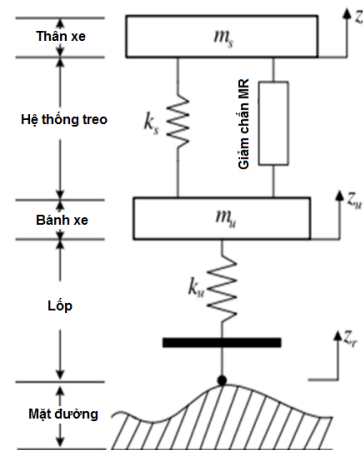
3.2. Mô hình hóa hệ thống treo 1/4 có giảm chấn MR

Sơ đồ hệ thống treo 1/4 có trang bị giảm chấn MR được thể hiện như Hình 5. Trên mô hình phần tử giảm chấn thụ động được thay thế bằng giảm chấn MR và hệ số cản giảm chấn c_s không được thể hiện nữa. Vì vậy, lúc này hệ thống treo chỉ còn 2 thông số là k_s và f_{MR} (f_{MR} : lực đầu ra của giảm chấn MR).

Từ phương trình (8) kết hợp với giảm chấn MR ta có phương trình như sau:

$$\begin{cases} m_s \ddot{z}_s = -k_s (z_s - z_u) - f_{MR} \\ m_u \ddot{z}_u = k_s (z_s - z_u) - k_t (z_u - z_r) + f_{MR} \end{cases} \quad (9)$$

Trong đó: f_{MR} : Lực do giảm chấn MR sinh ra.



Hình 5. Mô hình hệ thống treo 1/4 với giảm chấn MR

4. Thử nghiệm xác định đặc tính giảm chấn MR

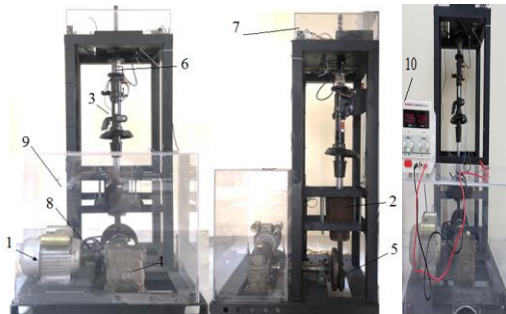
4.1. Sơ đồ thiết bị

Thiết bị thí nghiệm được chế tạo tại Trường Đại học Bách khoa Hà Nội. Thiết bị hoạt động đảm bảo độ chính xác, êm và tin cậy. Hình dáng tổng thể thiết bị được biểu thị trên Hình 6.

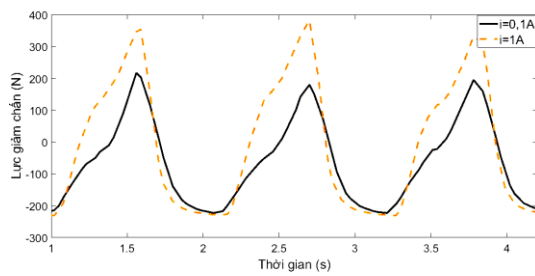
4.2. Kết quả thực nghiệm

Thực nghiệm xác định lực cản giảm chấn với đầu vào là dao động hình sin biên độ 5cm, pha dao động 2π . Dao động được tạo ra do cơ cấu trục khuỷu - thanh truyền. Việc xác định chuyển vị và vận tốc dao động

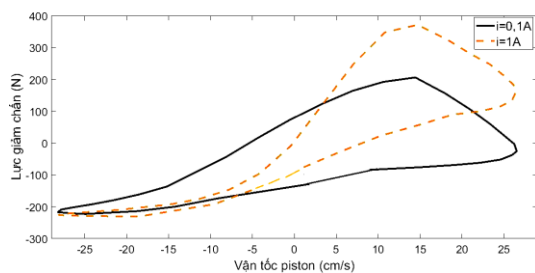
thông qua Encoder, lực giảm chấn được đo bằng Loadcell. Kết nối bộ đo và máy tính qua cổng USB, giao diện hiển thị 3 đặc tính: $F-t$, $F-v$, $F-x$. Kết quả được lưu dưới dạng file excel. Kết quả đo thực nghiệm thể hiện trên Hình 7.



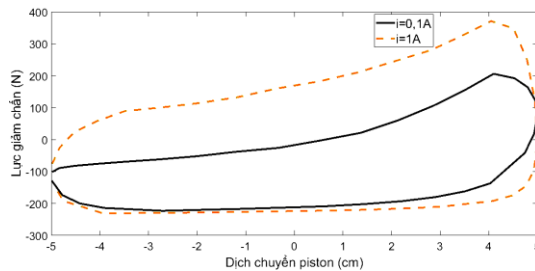
Hình 6. Thiết bị thí nghiệm động lực học giảm chấn
 1. Động cơ; 2. Bộ piston xylanh; 3. Giảm chấn MR; 4. Hộp giảm tốc; 5. Trục khuỷu; 6. Cảm biến lực loadcell; 7. Hộp điều khiển; 8. Encoder; 9. Công tắc nguồn; 10. Bộ cấp nguồn.



a) $F-t$



b) $F-v$



c) $F-x$

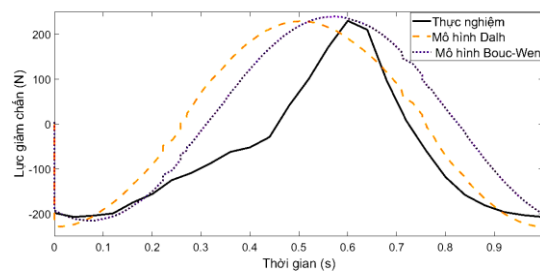
Hình 7. Đặc tính lực ứng với dòng điện cấp khác nhau

Nhận xét: Ở mỗi chu kì dao động, biên độ của lực giảm chấn tăng theo giá trị dòng điện kích thích, khi dòng điện tăng từ 0,1A lên 1A thì lực giảm chấn từ 200N lên 380N, điều này cho thấy sự ảnh hưởng của dòng điện đến đặc tính làm việc của giảm chấn ở các giá trị dòng điện là khác nhau. Khi tăng dòng điện kích thích thì lực ở trạng thái trả của giảm chấn tăng mạnh với độ biến thiên lớn, nhưng ở chu kì nén, lực chỉ thay đổi trong phạm vi rất nhỏ (từ -207N đến -234N). Điều này cho thấy dòng điện có ảnh hưởng lớn đến quá trình trả của giảm chấn.

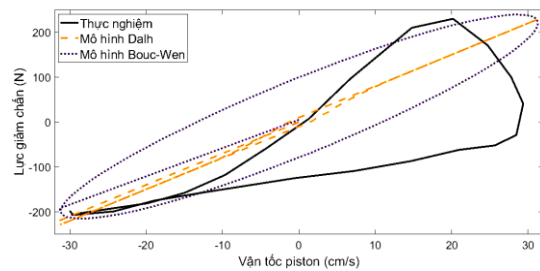
5. Mô phỏng hệ thống treo 1/4 có trang bị giảm chấn MR

5.1. Đánh giá mô phỏng với thực nghiệm

Mô phỏng và thực nghiệm sử dụng tín hiệu giả lập đầu vào dạng hình sin, biên độ 5cm, tần số 2π . Kết quả so sánh giữa mô phỏng với thí nghiệm ở dòng điện điều khiển 0,25A được biểu thị trên Hình 8.



a) $F-t$



b) $F-v$

Hình 8. Đặc tính giảm chấn giữa mô phỏng và thực nghiệm ở dòng điện điều khiển 0,25V

Kết quả trên đồ thị cho thấy, đặc tính giảm chấn theo mô hình Bouc-Wen cho kết quả gần với thực nghiệm hơn so với mô hình Dahl. Vì vậy, trong các nghiên cứu về giảm chấn MR, nên sử dụng mô hình tham số Bouc-Wen, các thông số mô phỏng trong mô hình Bouc-Wen theo Bảng 1 là tương đối phù hợp.

5.2. Mô phỏng hoạt động của hệ thống treo 1/4 có trang bị giảm chấn MR

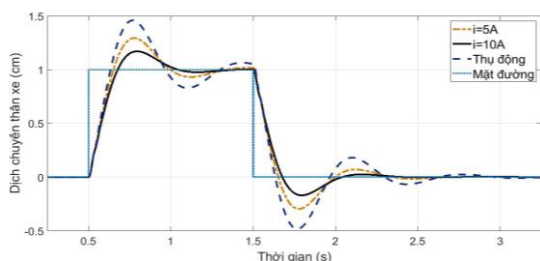
Để đánh giá hoạt động của hệ thống treo có trang

bị giảm chấn MR, chúng tôi xây dựng phương án mô phỏng như Bảng 4. Trong phạm vi nghiên cứu này chúng tôi sử dụng xung đầu vào tác động theo dạng xung vuông để xem xét phản ứng của hệ thống treo đến dao động của thân xe dưới tác dụng của các dòng điện cấp vào giảm chấn MR khác nhau. Tiêu chí đánh giá là biên độ dao động lớn nhất của thân xe.

Bảng 4. Phương án mô phỏng hệ thống treo với giảm chấn MR

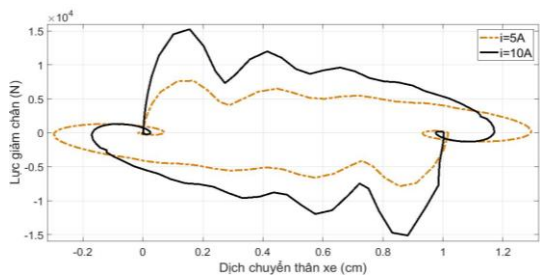
Phương án	Đầu vào	Dòng điện (A)	Tiêu chí đánh giá
1	Nhấp nhô	0	Biên độ, tần số dao động của thân xe
2	mặt đường	5	
3	xung vuông	10	

Kết quả mô phỏng được trình bày trong Hình 9.

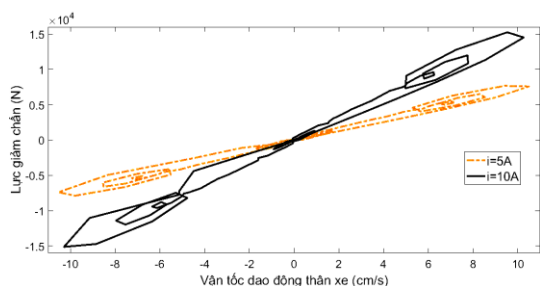


Hình 9. So sánh dịch chuyển thân xe

Đặc tính $F-v$, $F-x$ được thể hiện trên Hình 10.



a) $F-x$



b) $F-v$

Hình 10. Lực giảm chấn trên hệ thống treo 1/4

Nhận xét: Hiệu quả dập tắt dao động của thân xe khi có dòng điện điều khiển vào giảm chấn cao hơn hẳn so với khi không điều khiển (thụ động). Ứng với dòng điện điều khiển nhỏ thì biên độ dao động được giảm nhiều nhưng tần số dao động vẫn còn lớn, càng tăng dòng điện điều khiển thì khả năng dập tắt dao động càng cao, cả về mặt biên độ và tần số. Mặt khác, khi không cấp dòng điện cho giảm chấn, lực giảm chấn không bằng 0, lúc này giảm chấn MR hoạt động như một giảm chấn thụ động. Bởi vì, trong thực tế độ nhớt của chất lỏng cũng là nguyên nhân gây ra hiệu ứng giảm chấn khi giảm chấn ở trạng thái tắt. Nó tương đương với trạng thái khi bộ điều khiển bị hỏng, cuộn dây điện từ hoạt động sai chức năng hoặc hệ thống làm việc không an toàn.

5. Kết luận

Bài báo đã tập trung phân tích lý thuyết trong xây dựng mô hình giảm chấn MR (tập trung vào mô hình Bouc-Wen) và mô hình hệ thống treo 1/4 có sử dụng giảm chấn MR, đã tiến hành xác định sự phù hợp của các thông số mô phỏng thông qua thực nghiệm xác định đặc tính giảm chấn MR trên hệ thống treo trước của ô tô Honda Acurra 2011 trong phòng thí nghiệm. Mô phỏng hoạt động hệ thống treo 1/4 có giảm chấn MR với các dòng điện điều khiển 5A và 10A. Việc đánh giá hiệu quả dập tắt dao động thông so sánh dịch chuyển của thân xe (Hình 9) cho thấy ưu điểm vượt trội của giảm chấn MR trong khả năng dập tắt dao động của hệ thống treo. Đồng thời, nhóm tác giả cũng xây dựng các đồ thị $F-v$, $F-x$ nhằm mục đích quan sát đặc tính động lực học của giảm chấn MR trong hệ thống treo 1/4. Từ các kết quả trên, người dùng có thể kiểm soát lực giảm chấn của bộ giảm chấn MR bằng cách thay đổi dòng điện cung cấp đầu vào cho cuộn dây từ. Đây là bước cần thiết trong nghiên cứu thuật toán và phát triển điều khiển hệ thống treo bán tích cực có trang bị giảm chấn MR.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Mitu A.M., Popeescu I., Sireteanu T., *Mathematical modeling of semi-active control with application to building seismic protection*, BSG Proceedings, Vol.19, pp.88-99, 2012.
- [2] Sapinski B., *Magneto-rheological dampers in vibrational control of mechanical structures*, Mechanics Vol.28, No1. pp/18-25, 2009.
- [3] Braz Cesar M., R. Carneiro de Barros R., *Properties and Numerical Modeling of MR*

- dampers*, 15 th international conference on experimental mechanics, Porto, Portugal, 2012.
- [4] Zhang H., et al., *Study on the design, test and simulation of a MR damper with two-stage electromagnetic coil*, www.paper.edu.cn - viewed on March 13, 2016, 2004.
- [5] Eshkabilov S., Grimheden M., *Car seat damper controller design with magneto-rheological fluids*, Int. Conf., Nov.2015, Navoi, Uzbekistan, 2015.
- [6] Lee T.Y., Kawashima K., Chen P.C. *Experimental and Analytical Study on a Nonlinear Isolated Bridge under Semiactive Control*, 14th World Conference on Earthquake Engineering, October 12-17, 2008, Beijing, China, 2008.
- [7] Mat Hussin Ab Talib, Intan Z. Mat Darus, 2013, *Self-tuning PID Controller with MR damper And Hydraulic Actuator For Suspension System*, Fifth International Conference on Computational Intelligence, Modeling and Simulation, IEEE-Computer Society, DOI 10.1109/CIMSim.2013.27, pp. 119-124.

Ngày nhận bài:	30/6/2021
Ngày nhận bản sửa:	29/7/2021
Ngày duyệt đăng:	09/8/2021