

MÔ HÌNH HÓA VÀ MÔ PHỎNG ĐỘNG LỰC HỌC HỆ GIẢM CHẤN CỦA MÁY ĐÀM LẤN VÀ RUNG

MODELING AND SIMULATION OF DYNAMIC DAMPING SYSTEM OF IMPACTION ROLLER AND VIBRATION COMPACTOR

Huỳnh Công Lớn*, Lương Văn Tới

Khoa Cơ khí, Trường Đại học Bách Khoa, Đại học Quốc gia Thành phố Hồ Chí Minh

TÓM TẮT

Mô hình toán của hệ giảm chấn được thành lập trên cơ sở phân tích kết cấu và các thông số làm việc của máy đầm và rung trục lăn. Các mô hình mô phỏng được tạo ra bao gồm chuyển động của xe kéo, khung máy và trống lăn rung. Sử dụng phần mềm MATLAB Simulink để mô phỏng động lực học của cơ hệ trong nhiều môi trường làm việc khác nhau. Kết quả mô phỏng được so sánh với dữ liệu thực nghiệm để điều chỉnh mô hình mô phỏng phù hợp với thực tế hơn. Kết quả mô phỏng cũng chỉ ra rằng các thông số làm việc của trống lu rung ảnh hưởng như thế nào đến bộ phận kéo. Kết quả cho thấy mô hình động lực học và mô hình mô phỏng có thể mô phỏng điều kiện làm việc của trống lu rung và giúp các nhà thiết kế có thể tối ưu hóa các thông số làm của máy đầm rung trục lăn.

Từ khóa: Trống lu rung; Đầm lăn; Mô phỏng động lực học; Rung va.

ABSTRACT

The mathematical model of the damping system is established on the basis of structural analysis and working parameters of the roller vibration compactor. The simulation models created include the motion of the tractor, machine frame, and vibrating roller. Use MATLAB Simulink software to simulate the dynamics of the mechanical system in many different working environments. The simulation results are compared with experimental data to adjust the simulation model to better match reality. The simulation results also show how the working parameters of the vibrating roller affect the traction. The results show that the dynamic model and simulation model can simulate the working conditions of the vibrating roller and help designers optimize the working parameters of the roller vibrating machine.

Keywords: Vibrating roller; Roller compactor; Dynamic simulation.



1. TỔNG QUAN

Đầm va rung trục lăn là một dạng đầm bê tông khác với đầm lăn tĩnh truyền thống và nén rung. Phương pháp này áp dụng đồng thời kỹ thuật nén rung và va rung, do đó nó mang lại hiệu quả đầm nén tốt hơn. Tuy nhiên, do tác động của các lực va nên thiết bị này thường gây ra rung động và tiếng ồn trong quá trình làm việc.

Áp dụng kỹ thuật mô phỏng và lý thuyết động lực học cơ hệ nhiều bậc tự do, việc mô phỏng động lực học được thực hiện trên toàn bộ mô hình máy đầm va rung trống lăn bằng phần mềm mô phỏng MATLAB Simulink. Các quy luật động lực học của hệ giảm chấn đã cho thấy sự ảnh hưởng đến thông số làm việc của bộ phận kéo và trống lu, từ những kết quả đó giúp cho nhà thiết kế cắt giảm bớt vòng lặp trong thiết kế và thử nghiệm.

2. NGUYÊN TẮC LÀM VIỆC CỦA MÁY ĐẦM LƯ VÀ RUNG

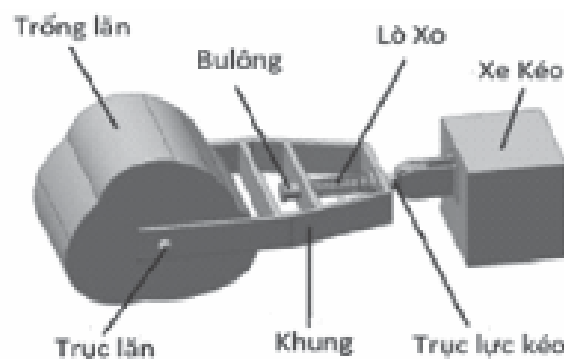
Máy đầm lăn va rung chủ yếu bao gồm máy kéo, trống lăn, khung, cơ cấu giảm chấn và nâng, cơ cấu di chuyển... [1]. Máy kéo là máy ủi, máy xúc hoặc loại phương tiện kỹ thuật khác có thể đáp ứng các yêu cầu của nhiệm vụ kéo. Hình dáng của trống lăn là không tròn đều, biên dạng thông thường là tam cạnh, tứ giác hoặc ngũ giác, biên dạng của các cạnh đa giác là các cung tròn.

Khi máy đầm lăn va rung chuyển động thì đất sẽ bị nén theo chu kỳ thông qua sự tăng giảm của tâm của trục trống lăn do biên dạng bên ngoài của trống không tròn. Nó có thể sử dụng sự biến đổi tuần hoàn của năng lượng ở dạng động năng và thế năng của trống lăn để tác dụng lực tác động với biên độ lớn và tần số thấp tới đất, ngay lập tức sẽ có sự giải

phóng năng lượng va chạm lớn để tạo ra gia tốc chuyển động cho các hạt vật liệu và độ dịch chuyển lớn làm tăng mật độ của vật liệu để đạt được mục tiêu nén [2]. Tải trọng tác động theo chu kỳ và độ gồ ghề của mặt đường sẽ gây ra các lực nén ngang và rung động trong các bộ phận của máy, ví dụ: khung xe, bánh xe lăn, xe kéo và người lái.

3. MÔ HÌNH MÔ PHỎNG VÀ MÔ HÌNH ĐỘNG LỰC HỌC CỦA HỆ GIẢM CHẤN MÁY ĐẦM LĂN VA RUNG

3.1. Mô hình 3D của máy đầm trống lăn va rung



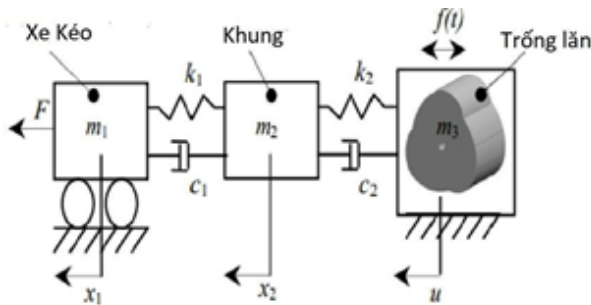
Hình 1. Mô hình 3D của máy đầm trống lăn va rung

Cấu tạo của máy đầm trống lăn va rung được xây dựng như hình 1, nó bao gồm các phần chính như sau: trống lăn có biên dạng là các mặt cung tròn ghép lại, khung kéo được liên kết với trống lăn qua trục của trống và máy kéo qua trục kéo có lò xo giảm chấn.

Hệ thống giảm chấn là thành phần quan trọng để cách ly dao động từ trống lăn tác động lên khung máy và máy kéo. Hệ thống giảm chấn này được thiết kế để làm việc ở hai mức cấp độ. Cấp độ một chỉ xem xét trục kéo, khung kéo và các bộ phận lò xo giảm chấn; Cấp độ hai được hình thành bởi trục bánh xe lăn, bánh xe lăn, khối cao su đệm được lắp giữa trục của trống lăn và trống lăn.

3.2. Mô hình động lực học của máy đầm lăn và rung

Hệ phương trình động lực học của hệ giảm chấn cho máy đầm và rung trục lăn là mô hình toán của hệ thống cách ly rung động. Các đối tượng cần phải được cách ly rung động do sự tác động của trống lăn là xe kéo, khung và tải xé. Giả sử máy đầm lăn và rung làm việc trên bề mặt tương đối bằng phẳng và nhận lực kéo ngang từ máy kéo. Hình 1 thể hiện sơ đồ phác thảo của hệ giảm chấn ba bậc tự do được mô hình hệ thống bao gồm máy kéo, khung và bánh xe lăn.



Hình 2. Mô hình động lực học của hệ giảm chấn của máy đầm trống lăn và rung

Các đại lượng được hiển thị trong hình 2: m_1 , m_2 , m_3 lần lượt là khối lượng xe kéo, khối lượng khung xe, khối lượng trống lăn; k_1 , k_2 là độ cứng của cơ hệ; c_1 , c_2 là hệ số giảm chấn của cơ hệ; F là lực kéo phát động từ xe kéo và $f(t)$ là lực tác động theo phương tiếp tuyến với mặt đường được sinh ra bởi chuyển động quay của trống lăn không đối xứng.

Giả thuyết rằng xe kéo chuyển động về phía trước với vận tốc đều và hệ thống giảm chấn của máy đầm và rung trống lăn ở trạng thái cân bằng dưới tác dụng của ngoại lực. Theo Định luật II Newton, phương trình động lực học của hệ là:

$$\begin{cases} m_1\ddot{x}_1 + c_1(\dot{x}_1 - \dot{x}_2) + k_1(x_1 - x_2) = 0 \\ m_2\ddot{x}_2 + c_1(\dot{x}_2 - \dot{x}_1) + k_1(x_2 - x_1) + c_2(\dot{x}_2 - \dot{u}) + k_2(x_2 - u) = 0 \\ m_3\ddot{u} + c_2(\dot{u} - \dot{x}_2) + k_2(u - x_2) = f(t) \end{cases} \quad (1)$$

Hệ phương trình (1) có thể biểu diễn dưới dạng ma trận như sau:

$$M\ddot{X} + C\dot{X} + KX = F \quad (2)$$

$$M = \begin{bmatrix} m_1 & 0 & 0 \\ 0 & m_2 & 0 \\ 0 & 0 & m_3 \end{bmatrix} \quad C = \begin{bmatrix} c_1 & c_1 & 0 \\ c_1 & c_1 + c_2 & -c_2 \\ 0 & -c_2 & c_2 \end{bmatrix}$$

$$K = \begin{bmatrix} k_1 & -k_1 & 0 \\ -k_1 & k_1 + k_2 & -k_2 \\ 0 & -k_2 & k_2 \end{bmatrix} \quad F = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ f(t) \end{bmatrix} \quad X = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{bmatrix} \quad (3)$$

Trong đó: M , C , K tương ứng là ma trận khối lượng, ma trận giảm chấn, ma trận độ cứng; F là vector tải trọng; X là vector chuyển vị.

Giả sử rằng $f(t)$ chỉ gây ảnh hưởng đến các bộ phận của hệ thống máy đầm và người lái khi trống lăn tác động lên đường, chuyển vị ban đầu của khung và máy kéo bằng xem như không đáng kể và thời gian va chạm thì rất ngắn, như vậy tổng xung lực tương tác chỉ được xem xét ở giai đoạn trống lăn va chạm với mặt đất [3]. Tổng xung, J , được xác định bởi:

$$J = \int_0^{\tau} f(t) dt \quad (4)$$

Trong đó, τ tổng thời gian trống lăn va chạm với mặt đất, J là tổng xung lực tác dụng lên các bộ phận máy đầm. Như vậy vận tốc chuyển động của khung máy được xác định như sau:

$$v_m = \frac{J}{m_3} \quad (5)$$

Thay các giá trị ban đầu vào hệ phương trình (1), ta có:

$$\begin{cases} x_1(0) = x_2(0) = u(0) = 0 \\ \dot{x}_1(0) = \dot{x}_2(0) = 0 \\ \dot{u}(0) = v_m \end{cases} \quad (6)$$

4. MÔ PHỎNG ĐỘNG LỰC HỌC HỆ GIẢM CHẤN CỦA MÁY ĐÀM LẤN VÀ RUNG

4.1. Mô hình mô phỏng hệ giảm chấn của máy đầm lặn và rung

Mô hình bao gồm các chuyển động tương đối của các khối lượng m_1 , m_2 , và m_3 được xác định rõ ràng, thông qua các chi tiết giảm chấn như lò xo, đệm cao su. Các chuyển động này được xác định bởi các hàm chuyển vị theo thời gian.

4.2. Xác định các điều kiện biên cho các chuyển động

Tấm phẳng hình chữ nhật được mô phỏng mặt đường tiếp xúc với bánh xe lặn. Tấm được kết nối nối đất bằng mỗi nối cố định. Các khớp quay được xác định tương ứng giữa trống lặn và trục trống lặn, khung và trục trống lặn, trục máy kéo và lực kéo, dẫn động bánh xe và trục. Mỗi nối ràng buộc giữa khung và trục kéo được định nghĩa là khớp tịnh tiến.

4.3. Xác định các lực tác dụng

a) Lực lò xo

Lực lò xo nối trục kéo với khung mô phỏng hệ thống giảm chấn đầu tiên. Độ cứng lò xo đệm được tính toán là 282 N/mm.

b) Lực ép ống lót

Giai đoạn thứ hai của hệ thống giảm chấn bao gồm các khối cao su và lớp xe. Nó có thể làm giảm rung động xuyên tâm và ngang.

c) Lực kéo

Sự tương tác giữa trống lặn và mặt đất được xem như là bài toán va chạm giữa hai khối lượng và sinh ra lực va được mô phỏng như sau:

$$F = \begin{cases} \text{Max}(0, k(x_1 - x)^e - \text{step}(x, x_1 - d, c_{\max}, x_1, 0)\dot{x}) : x < x_1 \\ 0 : x > x_1 \end{cases} \quad (7)$$

Trong đó: step là hàm bậc thang; k là độ cứng tiếp xúc nó phụ thuộc vào tính chất của vật liệu và hình dáng hình học của các vật thể va chạm; x là khoảng cách thực tế giữa hai vật thể va chạm; e là giá trị thực dương biểu thị chỉ số phi tuyến; $c_{\max}$ là hệ số giảm chấn; d là độ sâu xuyên thấu; x_1 là giá trị thực không đổi; $\dot{x}$ là tốc độ xuyên thấu tại điểm tiếp xúc.

Khi $x \geq x_1$ thì hai vật chưa tiếp xúc nhau và lực va chạm bằng không. Khi $x < x_1$, khi đó sự va chạm đã xảy ra với các tham số được chỉ định tương ứng là: hệ số độ cứng k là $1,0 \times 10^3$ N/mm; hệ số phi tuyến e là 1.6; hệ số giảm chấn c thường là 120 N.s/mm; độ sâu xuyên thấu d là 0.2 mm; hệ số ma sát tĩnh giữa đất và thép là 0,75; hệ số ma sát động là 0,57.

4.4. Xác định mô-men truyền động từ xe kéo cho trống lặn

Mô-men dẫn động giữa bánh xe và trục máy kéo là được định nghĩa trong MATLAB Simulink, điều khiển máy kéo chuyển động phía trước. Để giữ thăng bằng chuyển động, tất cả các bánh xe mô-men truyền động được thêm vào mô hình mô phỏng.

5. PHÂN TÍCH MÔ PHỎNG VÀ BÀN LUẬN

5.1. Điều kiện mô phỏng

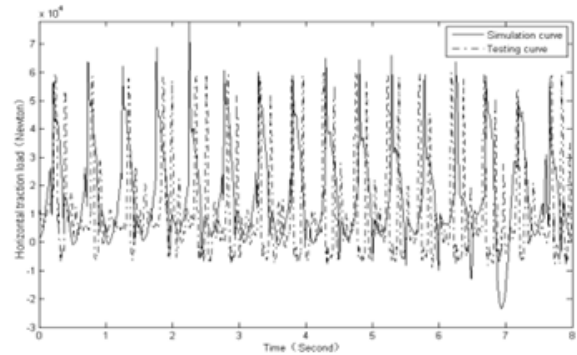
Tất cả các mô-men dẫn động bánh xe được cung cấp bởi hàm bậc thang, nó được mô phỏng trong Matlab Simulink. Theo các khảo sát thử nghiệm, giá trị trung bình của tốc độ xe lu là 14,4 km/h trong điều kiện làm việc bình thường. Đơn vị đo trong MATLAB là hệ đơn vị quốc tế SI. Theo số liệu thực nghiệm, các thông số kết cấu của hệ thống cách ly rung có thể được xác định như sau: độ cứng lò xo k_1 là 282 N/mm và k_2 là 300 N/mm; hệ số giảm chấn c_1 là 50 N·S/mm và c_2 là 800 N·S/mm.

5.2. Kết quả mô phỏng và nhận xét

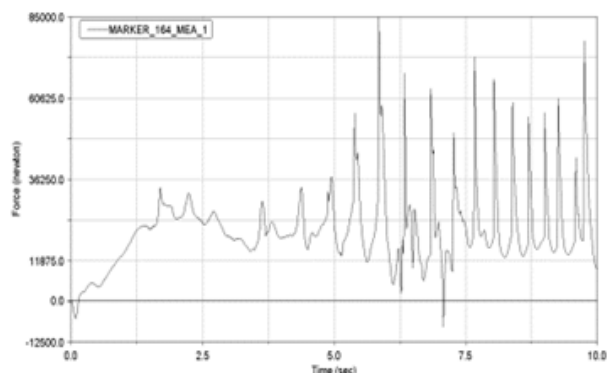
Trong Matlab Simulink, hiệu suất của hệ thống được mô phỏng và định luật tải trọng va đập theo phương ngang tác dụng lên máy kéo mô phỏng tương ứng. Hình 3 cho thấy mô phỏng và kiểm tra đường cong tải trọng ngang trong điều kiện máy đầm trống lăn va rung đang làm việc ở vận tốc trung bình là 14.4 km/giờ. Trục tung biểu diễn tải trọng ngang tác động lên máy kéo dọc theo phương x và trục hoành biểu diễn thời gian mô phỏng. Hình 4 biểu diễn đường cong tải trọng tác động mô phỏng trong quá trình máy đầm lăn gia tốc từ 0 lên 22 km/h.

Trong hình 3 xuất hiện hai đỉnh tải liên kế trên đường cong trong quá trình thí nghiệm khi mỗi cạnh của trống lăn đập xuống đất. Nguyên nhân là do cảm biến lực căng có thêm tải nên tải thực tế chỉ nên có một đỉnh. Bằng cách so sánh đường cong mô phỏng và kiểm tra, luật biến thiên của lực tác động ngang được hiển thị trong hình 3 về cơ bản phù hợp với tải trọng của đường cong thử nghiệm, tần số tác động và phạm vi của giá trị tải. Sai số của nó nằm trong giới hạn cho phép. Do đó, kết quả

mô phỏng xác nhận tính đúng đắn của mô hình động lực học.

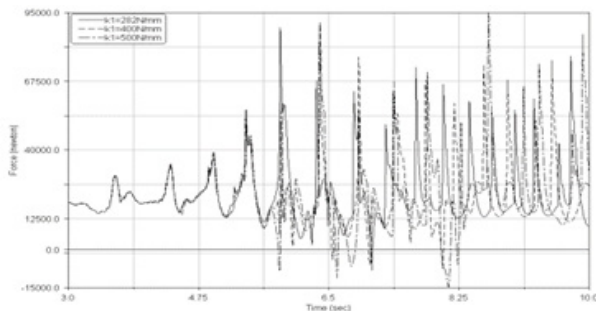


Hình 3. Đường cong tải trọng mô phỏng và kiểm tra

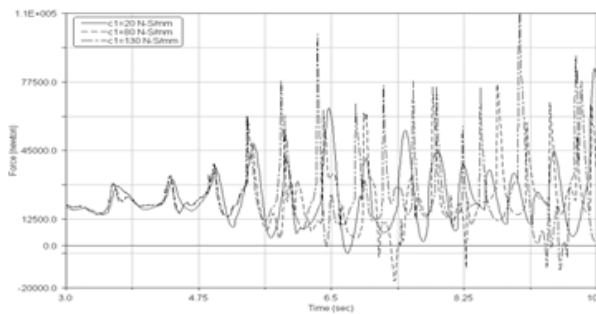


Hình 4. Đường cong tải trọng tác động lên máy kéo theo phương ngang khi tăng tốc từ 0 lên 22 km/h

Khi thay đổi các tham số ảnh hưởng đến chế độ làm việc của hệ thống khi mô phỏng như độ cứng k_1 được đặt tương ứng với các giá trị 282, 400 và 500 N/mm, đường cong tải trọng tác động đến máy kéo theo phương ngang được thể hiện như sau (hình 5). Các đường cong biểu thị cho thấy rằng khi giá trị k_1 tăng lên, tải trọng kéo tăng không mạnh, đạt cực đại xuất hiện phía trước, lực kéo lùi tăng lên và tải trọng về cơ bản là không thay đổi, nhưng trống lăn bật lại từ mặt đất ngày càng nhiều và các đường cong tải trọng thay đổi không đều.

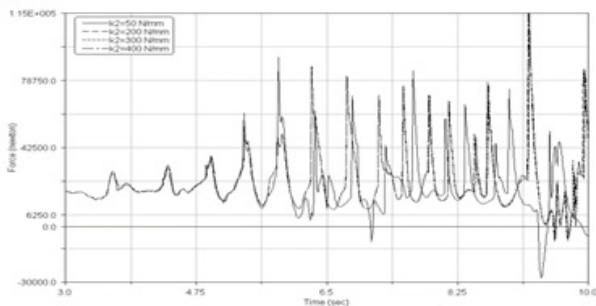


Hình 5. Đường cong mô phỏng tải trọng tác động lên máy kéo theo phương ngang khi thay đổi độ cứng k_1

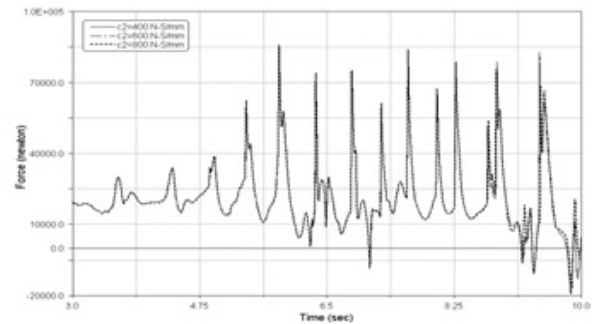


Hình 6. Đường cong mô phỏng tải trọng tác động lên máy kéo theo phương ngang khi thay đổi hệ số giảm chấn c_1

Hình 6 cho thấy ảnh hưởng của giảm chấn đến hệ thống khi hệ số giảm chấn c_1 được xác định là 20, 80 và 130 N·S/mm. Khi giá trị giảm chấn tăng, tải tác động theo phương ngang lên xe kéo tăng lên và trông lẫn nảy lên khỏi mặt đất, ảnh hưởng đến tần số và đập của trông lẫn tới mặt đất và hiệu quả đầm lèn giảm.



Hình 7. Đường cong mô phỏng tải trọng tác động lên máy kéo theo phương ngang khi thay đổi hệ số độ cứng k_2



Hình 8. Đường cong mô phỏng tải trọng tác động lên máy kéo theo phương ngang khi thay đổi hệ số giảm chấn c_2

Hình 7 thể hiện sự thay đổi của đường cong tải trọng tác dụng theo phương ngang khi độ cứng cấp thứ hai k_2 được chọn tăng dần từ 50, 200, 300 và 400 N/mm. Như được thấy trong Hình 7, tần số của tất cả các đường cong về cơ bản là giống nhau và tải trọng kéo tăng khi tăng k_2 ; khi k_2 là 200, 300 và 400, sự thay đổi của đường cong giống nhau. Đường cong giải thích khi giá trị của k_2 lên rất nhiều thì tải trọng tác dụng theo phương ngang giảm đi. Do đó, bằng cách giảm k_2 , tải trọng tác động có thể giảm tương ứng. Hình 8 hiển thị các đường cong tải trọng tác động ngang khi ở cấp độ thứ hai hai hệ số giảm chấn c_2 được chọn là 400, 600 và 800 N·S/mm. Như trong hình 8, với sự gia tăng độ giảm chấn hệ số c_2 , tần số va đập của trông lẫn giữ nguyên không đổi, biên độ tải trọng kéo tăng lên một chút.

6. KẾT LUẬN

Ảnh hưởng của các hệ số độ cứng, hệ số giảm chấn và vận tốc của xe kéo đến tải trọng tác động theo phương ngang của máy đầm trông lẫn và rung đã được nghiên cứu thông qua chương trình mô phỏng động lực học của hệ giảm chấn. Mô hình lớp xe và mặt đường đã được đưa vào mô hình động lực học của cơ hệ để mô phỏng sự tương tác của xe kéo đến tải trọng đầm. Kết quả mô phỏng cho thấy tải

trọng kéo nhảy cảm với hệ số giảm chấn cấp một và vận tốc lực kéo, trong điều kiện đầm nén bình thường, lực kéo tối đa vòng 60 ~ 80 kN. Giảm độ cứng cấp độ thứ hai có thể làm suy yếu lực tác động ngang lên xe kéo. Hệ số giảm chấn cấp độ thứ hai ít ảnh hưởng đến tải trọng kéo. Khi tăng tốc độ của xe kéo thì lực tác động theo phương ngang tăng, tần số tăng lên đáng kể, độ sâu nén đất cũng tăng. Những kết quả này có thể giúp các nhà thiết kế hợp lý hóa quá trình thiết kế máy.❖

Ngày nhận bài: **08/9/2023**

Ngày phản biện: **15/10/2023**

Tài liệu tham khảo:

- [1]. Qing-Zhe Z., Bing Y., Jing-Liang D., Bao-Gui Y.. *Signal analysis on soil stress from vibrating compaction based on wavelet transform*.
- [2]. Al-Tabbaa, A. and Evans, W.C. (2005). *Stabilization-Solidification Treatment and Remediation: Part I: Binders and Technologies-Basic Principal. Proceedings of the International Conference on Stabilization/Solidification Treatment and Remediation* (pp. 367-385). Cambridge, UK: Balkema.
- [3]. Beeghly, J. (2003). *Recent Experiences with Lime – Fly Stabilization of Pavement Subgrade Soils, Bas, and Recycled Asphalt*. International Ash Utilization Symposium (p. Paper No. 46). Kentucky: University of Kentucky.
- [4]. Åhnberg, H. and Holm, G. (1999). *Stabilization of Some Swedish Organic Soils with Different Types of Binders*. Proceeding of Dry Mix Methods for Deep Soil Stabilization (pp. 101-108). Stockholm: Balkema.
- [5]. Yasui, S., Yokozawa, K., Yasuoka, N. and Kondo, H. (2005). *Recent Technical Trends in Dry Mixing (DJM) in Japan*. Stockholm: Proceeding of the International Conference on Deep Mixing-Best Practice and Recent Advances.
- [6]. Pousette, K., Mácsik, J. and Jacobsson, A. (1999). *Peat Soil Samples Stabilized in Laboratory-Experiences from Manufacturing and Testing*. Proceeding of Dry Mix Methods for Deep Stabilization (pp. 85-92). Stockholm: Balkema, Rotterdam.
- [7]. Hu Renxi. *UG NX6.0 Chinese edition from introduction to mastering* [M]. Beijing: China Machine Press, 2008.