Nghiên cứu rung động của người điều khiển máy khai thác lâm nghiệp trong chế độ tăng tốc từ vị trí khai thác

Research of vibration effect to the operator of feller buncher in the mode of starting from the place

Vũ Hải Quân*, Lê Hồng Quân, Nguyễn Tiến Hán

Trường Đại học Công nghiệp Hà Nội

**Email: quanvh@haui.edu.vn*

Mobile: 0981-534-266

Từ khóa:

Máy khai thác gỗ; Mô hình toán học; Rung động; Ghế ngồi.

Tóm tắt

Bài báo tiến hành xây dựng mô hình động lực học của hệ thống "Người điều khiển - máy khai thác - cơ cấu thực hiện - cây gỗ". Mô hình toán học được xây dựng trên cơ sở của phương trình Lagranzha thế hệ thứ 2. Hệ phương trình vi phân thể hiện mối liên kết đàn hồi giữa ghế của người điều khiển và khung xe được giải bằng phương pháp Runge-Kutta, với sự trợ giúp của chương trình toán học MathCAD. Tính toán mô phỏng của mô hình toán được tiến hành cho máy kéo LP-19A được sản xuất tại Nga ở chế độ tăng tốc từ vị trí khai thác. Kết quả mô phỏng cho thấy sự rung động của người điều khiển máy khai thác vượt quá ngưỡng cho phép tiêu chuẩn từ 1,8 đến 3,5 lần. Để giảm rung động tác động lên người điều khiển máy khai thác cần giới hạn gia tốc khởi động từ vị trí ban đầu đến giá trị 0,4 m/s^2.

Keywords:

Feller-the packaging car (feller-buncher machine); Mathematical models; Vibration; Seat.

Abstract

In article the model of biodynamic system is developed "the operator - feller - the packaging car (feller - buncher machine) - an object of the labor - a tree". The mathematical description is worked out in the form of the equation of Lagranzha second number. The system of the equations is solved concerning elastic deformation suspension seats of the operator by a method of Runge-Kutta, by engineering math software MathCAD. Model approbation is carried out on an example of serially let out feller-packaging cars LP-19A in the dispersal mode at start-off from the place. As a result of researches it is established: vibroloading operators of feller-packaging cars exceeds the sanitary code in 1.8 - 3.6 times. For decrease vibroloading operators it is expedient to limit accelerations at start-off from the place to 0.4 m/s^2.

Ngày nhận bài: 26/6/2018

Ngày nhận bài sửa: 09/9/2018

Ngày chấp nhận đăng: 15/9/2018

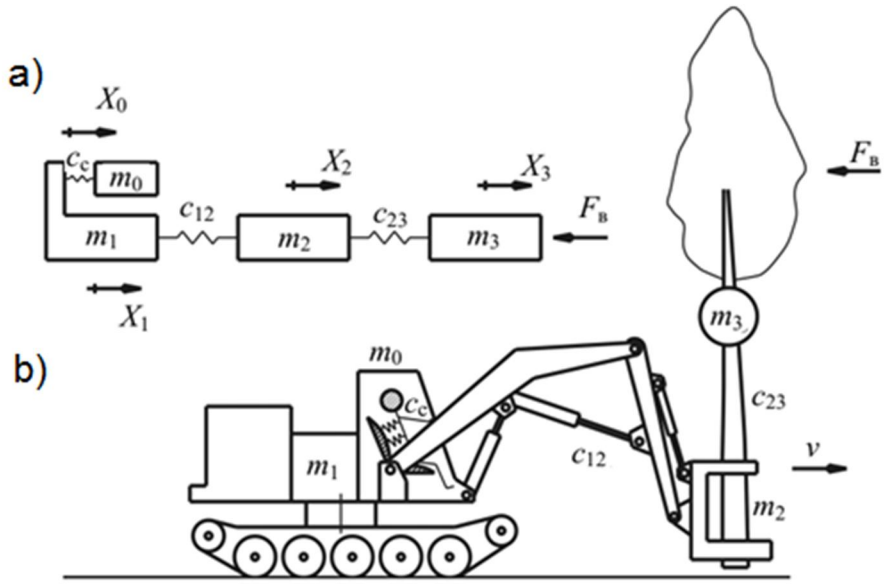
1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Trong quá trình khai thác gỗ, đặc biệt là khi thu dọn rừng sau khi chịu tác động của gió bão hoặc trong quá trình khai thác chọn lọc, người điều khiển máy khác thác gỗ liên hợp thông thường lựa chọn phương án cắt bỏ cây hoặc thay đổi hướng di chuyển của máy kéo để trách các vật cản.

Quá trình làm việc của máy khai thác gỗ liên hợp được đặc trưng nhất bằng ba chế độ di chuyển [1]: vượt qua các địa hình bất thường liên tục xuất hiện xen kẽ những địa hình không bằng phẳng, hoặc với một địa hình vi mô ngẫu nhiên. Trong một số trường hợp cụ thể là di chuyển để thực hiện các thao tác kỹ thuật hoặc di chuyển trên mặt đường bằng phẳng.

Trong phạm vi của bài báo này, chúng ta chỉ xem xét trường hợp chuyển động của máy khai thác gỗ liên hợp trong quá trình cắt cây gỗ khỏi gốc, sau đó di chuyển dọc theo địa hình bằng phẳng.

Trên hình số 1 giới thiệu sơ đồ tính toán động lực học hệ thống "*người điều khiển máy kéo - máy khai thác - cơ cấu chấp hành- cây gỗ*".



Hình 1. Sơ đồ tính toán động học hệ thống "người điều khiển - máy khai thác - cây gỗ"
a, sơ đồ mô hình tương đương; b, sơ đồ ban đầu

2. XÂY DỰNG MÔ HÌNH TOÁN CỦA HỆ THỐNG "NGƯỜI ĐIỀU KHIỂN - MÁY KHAI THÁC - CÂY GỖ"

Phương pháp nghiên cứu dựa trên việc xây dựng các mô hình toán học sau đó tiến hành phân tích và giải quyết với sự trợ giúp của phần mềm toán học Mathcad.

Để tiến hành xây dựng phương trình ta thống nhất một số ký hiệu như sau:

m_1, m_2, m_3, m_0 - Các phần khối lượng tương ứng của xe, cần quay với gầu cắt, cây gỗ và của người điều khiển.

X_1, X_2, X_3, X_0 - Tọa độ dịch chuyển của các phần khối lượng m_1, m_2, m_3, m_0 tương ứng.

c_{12}, c_{23}, c_c - Độ cứng tương ứng của cần quay, cây gỗ và ghế ngồi của người điều khiển máy khai thác.

P_0 - Lực kéo tiếp tuyến của bánh xe chủ động;

F_B - Lực cản dịch chuyển của cây gỗ.

Phương trình động năng của hệ thống được xác định như sau:

$$T = \frac{1}{2}m_0.X_0^2 + \frac{1}{2}m_1.X_1^2 + \frac{1}{2}m_2.X_2^2 + \frac{1}{2}m_3.X_3^2$$

Năng lượng tích trữ của hệ thống được xác định thông qua phương trình:

$$\Pi = \frac{1}{2}C_c(X_1 - X_0)^2 + \frac{1}{2}C_{12}(X_1 - X_2)^2 + \frac{1}{2}C_{23}(X_2 - X_3)^2$$

Biến đổi tương đương dưới dạng phương trình Lagranra thế thệ 2 ta có hệ phương trình sau:

$$\begin{gathered} m_1|m_0\ddot{X}_0 + C_cX_0 = C_cX_1; \\ m_2|m_0|m_1\ddot{X}_1 + C_c(X_1 - X_0) + C_{12}(X_1 - X_2) = P_0; \\ m_1|m_3|m_2\ddot{X}_2 + C_{23}(X_2 - X_3) = C_{12}(X_1 - X_2); \\ m_2|m_3\ddot{X}_3 + F_B = C_{23}(X_2 - X_3). \end{gathered} \quad (1)$$

Nhân phương trình số một của hệ phương trình (1) với giá trị m_1, phương trình số hai với m_0 sau đó lấy tích của phương trình thứ nhất trừ đi tích của phương trình thứ hai ta có:

$$-m_0m_1(\ddot{X}_1 - \ddot{X}_0) + m_1C_cX_0 - m_0C_c(X_1 - X_0) - m_0C_{12}(X_1 - X_2) = m_1C_cX_1 - m_0P_0,$$

Hoặc $$-m_0m_1(\ddot{X}_1 - \ddot{X}_0) - m_1C_c(X_1 - X_0) - m_0C_c(X_1 - X_0) - -m_0C_{12}(X_1 - X_2) = -m_0P_0.$$

Như vậy, cuối cùng ta có phương trình:

$$m_0m_1(\ddot{X}_1 - \ddot{X}_0) + (m_1 + m_0)C_c(X_1 - X_0) + m_0C_{12}(X_1 - X_2) = m_0P_0. \quad (2)$$

Tiếp theo, ta nhân phương trình số ba của hệ phương trình (1) với m_3, phương trình số bốn với m_2 va sau đó tiến hành lấy tích của phương trình ba trừ đi tích của phương trình bốn ta có:

$$m_2m_3(\ddot{X}_2 - \ddot{X}_3) + m_3C_{23}(X_2 - X_3) - m_2F_B = m_3C_{12}(X_1 - X_2) - -m_2C_{23}(X_2 - X_3),$$

hoặc

$$m_2m_3(\ddot{X}_2 - \ddot{X}_3) + (m_2 + m_3)C_{23}(X_2 - X_3) = = m_3C_{12}(X_1 - X_2) + m_2F_B. \quad (3)$$

Tiến hành nhân phương trình số hai của hệ phương trình số (1) với giá trị m_2, phương trình số ba với giá trị m_1, lấy tích của phương trình hai trừ đi phương trình ba ta có:

$$m_1m_2(\ddot{X}_1 - \ddot{X}_2) + m_2C_c(X_1 - X_0) + m_2C_{12}(X_1 - X_2) - m_1C_{23}(X_2 - X_3) = = P_0m_2 - m_1C_{12}(X_1 - X_2),$$

hoặc có thể viết:

$$m_1m_2(\ddot{X}_1 - \ddot{X}_2) + m_2C_c(X_1 - X_0) + (m_1 + m_2)C_{12}(X_1 - X_2) - -m_1(X_2 - X_3)C_{23} = P_0m_2; \quad (4)$$

Từ hệ phương trình số (4) ta rút giá trị $(X_2 - X_3)$ và $(\ddot{X}_2 - \ddot{X}_3)$

$$(X_2 - X_3) = \frac{m_1 m_2}{m_1 C_{23}}(\ddot{X}_1 - \ddot{X}_2) + \frac{m_2 C_c}{m_1 C_{23}}(X_1 - X_0) +$$
$$+ \frac{(m_1+m_2)C_{12}}{m_1 C_{23}}(X_1 - X_2) - \frac{P_0 m_2}{m_1 C_{23}};$$
$$(\ddot{X}_2 - \ddot{X}_3) = \frac{m_2}{C_{23}}(X_1^{IV} - X_2^{IV}) + \frac{m_2 C_c}{m_1 C_{23}}(\ddot{X}_1 - \ddot{X}_0) +$$
$$+ \frac{(m_1+m_2)C_{12}}{m_1 C_{23}}(\ddot{X}_1 - \ddot{X}_2).$$

Thay thế giá trị $(X_2 - X_3)$ và $(\ddot{X}_2 - \ddot{X}_3)$ vào hệ phương trình số (3) ta có:

$$\frac{m_2^2 m_3}{C_{23}}(X_1^{IV} - X_2^{IV}) + \frac{m_2^2 m_3 C_c}{m_1 C_{23}}(\ddot{X}_1 - \ddot{X}_0) + \frac{m_2 m_3 (m_1+m_2) C_{12}}{m_1 C_{23}}(\ddot{X}_1 - \ddot{X}_2) +$$
$$+ \frac{(m_2+m_3)C_{23} m_1 m_2}{m_1 C_{23}}(\ddot{X}_1 - \ddot{X}_2) + \frac{(m_2+m_3)C_{23} m_2 C_c}{m_1 C_{23}}(X_1 - X_0) + \quad (5)$$
$$+ \frac{(m_2+m_3)C_{23} C_{12}(m_1+m_2)}{m_1 C_{23}}(X_1 - X_2) - \frac{(m_2+m_3)C_{23} P_0 m_2}{m_1 C_{23}} =$$
$$= m_3 C_{12}(X_1 - X_2) + m_2 F_B.$$

Từ hệ phương trình số (2) ta có:

$$(X_1 - X_2) = -\frac{m_1}{C_{12}}(\ddot{X}_1 - \ddot{X}_0) - \frac{(m_0 + m_1)C_c}{m_0 C_{12}}(X_1 - X_0) + \frac{m_0 P_0}{m_0 C_{12}},$$
$$(\ddot{X}_1 - \ddot{X}_2) = -\frac{m_1}{C_{12}}(X_1^{IV} - X_0^{IV}) - \frac{(m_0 + m_1)C_c}{m_0 C_{12}}(\ddot{X}_1 - \ddot{X}_0),$$
$$(X_1^{IV} - X_2^{IV}) = -\frac{m_1}{C_{12}}(X_1^{IV} - X_0^{IV}) - \frac{(m_0 + m_1)C_c}{m_0 C_{12}}(X_1^{IV} - X_0^{IV}).$$

Thay giá trị $(X_1 - X_2), (\ddot{X}_1 - \ddot{X}_2)$ và $(X_1^{IV} - X_2^{IV})$ vào phương trình số (5) và biến đổi ta có:

$$\frac{m_2^2 m_3 m_1}{C_{23} C_{12}}(X_1^{VI} - X_0^{VI}) - \left[\frac{m_2^2 m_3 (m_0 + m_1) C_c}{m_0 C_{23} C_{12}} + \frac{m_2 m_3 (m_1 + m_2) C_{12} m_1}{m_1 C_{23} C_{12}} + \right.$$
$$\left. + \frac{(m_2 + m_3) C_{23} m_1^2 m_2}{m_1 C_{23} C_{12}}\right].(X_1^{IV} - X_0^{IV}) - \left[\frac{m_2 m_3 (m_1 + m_2) C_{12} (m_0 + m_1) C_c}{m_1 C_{23} m_0 C_{12}} - \right.$$
$$- \frac{m_2^2 m_3 C_c}{m_1 C_{23}} + \frac{(m_2 + m_3) C_{23} m_1 m_2 (m_0 + m_1) C_c}{m_1 C_{23} m_0 C_{12}} + \frac{m_1 (m_2 + m_3) C_{23} (m_1 + m_2) C_{12}}{m_1 C_{23} C_{12}} -$$
$$\left. - \frac{m_1 m_3 C_{12}}{C_{12}}\right](\ddot{X}_1 - \ddot{X}_0) - \left[\frac{(m_0 + m_1) C_c (m_2 + m_3)(m_1 + m_2) C_{12}}{m_0 C_{12} m_1 C_{23}} - \right.$$
$$\left. - \frac{(m_2 + m_3) C_{23} m_2 C_c}{m_1 C_{23}} + \frac{m_3 C_{12} (m_0 + m_1) C_c}{m_0 C_{12}}\right](X_1 - X_0) - \left[\frac{(m_2 + m_3) C_{23} P_0 m_2}{m_1 C_{23}} - \right.$$
$$\left. - \frac{m_0 P_0 (m_2 + m_3) C_{23} (m_1 + m_2) C_{12}}{m_0 C_{12} m_1 C_{23}} + \frac{m_3 C_{12} m_0 P_0}{m_0 C_{12}} + m_2 F_B\right].$$

Để đơn giản hóa ta thống nhất những các ký hiệu sau:

$$A = [\frac{m_2^2 m_3 (m_0 + m_1) C_c m_1 + m_2 m_3 (m_1 + m_2) C_{12} m_1 m_0 +}{m_0 m_1^2 m_2^2 m_3} \ldots$$

$$\ldots \frac{+(m_2 + m_3) C_{23} m_1^2 m_2 m_0}{m_0 m_1^2 m_2^2 m_3}], \frac{1}{S^2};$$

$$B = [\frac{\mathrm{m_2 m_3 (m_1 + m_2) C_{12} (m_0 + m_1) C_c - m_2^2 m_3 C_c m_o C_{12} +}}{\mathrm{m_0 m_1^2 m_2^2 m_3}} \ldots$$

$$\ldots \frac{\mathrm{(m_2 + m_3) C_{23} m_1 m_2 (m_o + m_1) C_c + m_1 (m_2 + m_3) C_{23} (m_1 + m_2) C_{12} m_0}}{\mathrm{m_0 m_1^2 m_2^2 m_3}}$$

$$\ldots \frac{\mathrm{-m_1 m_3 C_{12} m_0 m_1 C_{23}}}{\mathrm{m_0 m_1^2 m_2^2 m_3}}], \frac{1}{S^4};$$

$$C = [\frac{\mathrm{(m_0 + m_1).C_c.(m_1 + m_3).} C_{23}.\mathrm{(m_1 + m_2) C_{12} - (m_2 + m_3) C_{23}.m_2.} C_c.\mathrm{m_0.} C_{12} +}{\mathrm{m_0 m_1^2 m_2^2 m_3}} \ldots$$

$$\ldots . \frac{m_3 \mathrm{C_{12}.(m_0 + m_1).} C_c.\mathrm{m_1.} C_{23}}{\mathrm{m_0 m_1^2 m_2^2 m_3}}], \frac{1}{s^6};$$

$$D = [\frac{\mathrm{(m_2 + m_3).C_{23}.} P_0.\mathrm{m_2.m_0.} C_{12} - m_0.P_0.\mathrm{(m_2 + m_3) C_{23}.} (m_1 + m_2).C_{12} +}{\mathrm{m_0 m_1^2 m_2^2 m_3}} \ldots$$

$$\ldots . \frac{m_3 \mathrm{C_{12}.} m_0.P_0.m_1.C_{23} + m_2.F_B.m_0.m_1.C_{12}.C_{23}}{\mathrm{m_0 m_1^2 m_2^2 m_3}}], \frac{m}{s^6};$$

Khi đó ta có dạng phương trình vi phân cuối cùng:

$$(X^{VI}{}_1 - X^{VI}{}_0) + A.(X^{IV}{}_1 - X^{IV}{}_0) + B.(\ddot{X}_1 - \ddot{X}_0) + C.(X_1 - X_0) = D \qquad (6)$$

3. ÁP DỤNG MÔ HÌNH TOÁN ĐỂ TÍNH TOÁN CHO VÍ DỤ CỤ THỂ.

Áp dụng phương trình vi phân số (6) để tính toán với các thông số kỹ thuật của máy khai thác gỗ liên hợp LP -19A do Liên Bang Nga sản xuất với các thông số đầu vào như sau:

$m_1 = 25000$ kg; $m_2 = 2140$ kg; $C_{12} = 420$ kN/m; $C_c = 5$ kN/m;

V= 2,0 m^3; (G = 20000 N; $C_{12} = 65$ kN/m); $m_3 = 1023$ kg.

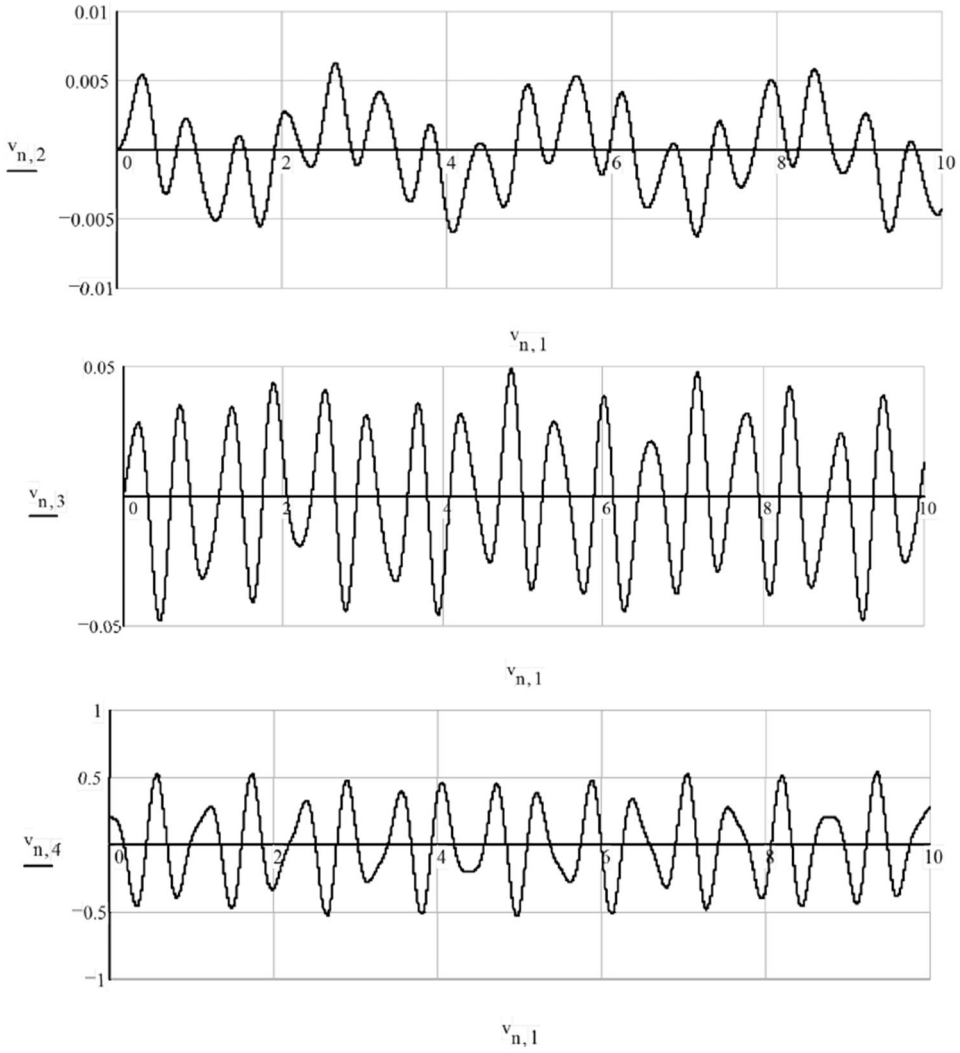
1. Xác định các hệ số A, B, C của phương trình vi phân số (6):

A = 319,45; B = 33248; C = $1625{,}22.10^2$.

2. Giải phương trình vi phân số (6) bằng phương pháp Runge–Kutta theo điều kiện ban đầu như sau:

$$O_1 = \dot{O}_1 = \ddot{O}_1 = O^{IV}{}_1 = O^{V}{}_1 = 0,$$
$$\ddot{O}_1 = 0{,}2; 0{,}4; 0{,}6; 0{,}8 \text{ m/s}^2.$$

Kết quả tính toán được giới thiệu thông qua hình số 2 và bảng 1.



Hình 2. Sơ đồ miêu tả sự rung động tác động lên người điều khiển máy khai thác gỗ liên hợp tại chế độ tăng tốc từ vị trí khai thác ($\ddot{O}_1$= 0,2 rad/s^2)
$V_{n,2}$ - độ dịch chuyển của người điều khiển ; $V_{n,3}$ - tốc độ rung ; $V_{n,2}$ - gia tốc của rung động.

Phân tích kết quả nhận được cho thấy rằng, trong quá trình tăng tốc từ vị trí khai tác của máy khai thác gỗ liên hợp sẽ xuất hiện kèm theo sự rung động mạnh tác động lên người điều khiển máy khai thác, giá trị này thường vượt quá giới hạn cho phép theo tiêu chuẩn bảo vệ sức khỏe của người lao động từ 1,8 đến 3,6 lần.

Bảng 1. Đặc tính rung động tác động lên người điều khiển máy khai thác gỗ liên hợp trong chế độ tăng tốc từ vị trí khai thác

Đặc tính	**$\ddot{O}_1$, m/s^2**			
	0,2	**0,5**	**0,6**	**0,8**
O_1, m	0,006	0,013	0,019	0,025
$\dot{O}_1$, m/s	0,049	0,098	0,147	0,196
$\ddot{O}_1$, m/s^2	0,539	1,078	1,617	2,156

4. KẾT LUẬN

1. Rung động tác động lên người điều khiển máy khai thác gỗ liên hợp tại chế độ tăng tốc từ vị trí khai thác vượt quá giá trị giới hạn cho phép theo tiêu chuẩn lớn.

2. Để giảm sự rung động tác động lên người điều khiển máy kéo tại chế độ tăng tốc cần thiết phải hạn chế tốc độ di chuyển của máy khai thác. Trong trường hợp này thời gian tăng tốc không thể nhỏ hơn khoảng 0,4 - 0,6 s.

3. Mô hình toán xây dựng cho phép xác định rung động tác động lên người điều khiển máy khai tác gỗ liên hợp. Kết quả của bài báo có thể là tài liệu tham khảo trong quá trình thiết kế và chế tạo các phương tiện phục vụ ngành nông lâm nghiệp.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1]. Gasymov G.Sh., Aleksandrov V.A. *Dinamika valochno-paketiruiushchikh machine*. SPb.: Izd-vo Politekhn, un-ta, 2014. 244 p (In Russ).

[2]. Zhukov A.V. *Basis for the design of special forest machines with regard to their oscillations [Text]* / A.Zhukov, L.I. Kadolko. - Minsk: Science and Technology, 1988, 264p.

[3]. Aleksandrova V.B. *Increase in the efficiency of logging machines by reducing dynamic loads and vibration loading of operators*. [Text]: the abstract of the dis. for the academic degree of Cand. tech. sciences / VB Aleksandrov. - СПБ .: ЛТА, 1988, 19p.

[4]. Alexandrov V.A. *Dynamic loads in logging machines*. [Text] / In. A. Alexandrov. - Л.: Publishing house ЛГУ, 1984, 152 p.

[5]. Alexandrov V.A. *Modeling of technological processes of forest machines*. [Text] / In. A. Alexandrov. - Moscow: Ecology, 1995, 256p.