

В.А. Александров, А.В. Александров, А.А. Бучников

**ВИБРОНАГРУЖЕННОСТЬ ОПЕРАТОРА
ВАЛОЧНО-ПАКЕТИРУЮЩЕЙ МАШИНЫ
ПРИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМ ПЕРЕЕЗДЕ
С УДЕРЖАНИЕМ СРЕЗАННОГО ДЕРЕВА В ЗСУ
ПРИ ЕГО ГОРИЗОНТАЛЬНОМ РАСПОЛОЖЕНИИ**

Введение. В процессе работы валочно-пакетирующей машины (ВПМ) одним из основных приёмов, оказывающих на сменную производительность значительное влияние, является время, затрачиваемое на технологические переезды. В связи с этим исследование этого процесса является актуальной задачей. Одним из часто применяемых операторами приёмов является приём переезда машины с удержанием срезанного дерева в захватно-срезающем устройстве в горизонтальном положении.

Материалы и методика исследования. Для решения поставленной цели была составлена расчетная схема динамической системы «Оператор – валочно-пакетирующая машина – предмет труда – дерево». Расчетная схема представлена на рис. 1.

Принятые обозначения:

m_0 – масса оператора;

m_1 – масса валочно-пакетирующей машины;

m_2 – масса захватно-срезающей головки и манипулятора;

m_3 – масса дерева;

X_1, X_2, X_0 и X_3 – обобщенные координаты масс m_1, m_2, m_0 и m_3 , соответственно;

C_c – приведенная жесткость спинки сидения;

C_{12} – жесткость манипулятора;

C_{23} – жесткость дерева;

P_0 – касательная сила;

F – сопротивление перемещению машины.

Результаты исследования.

Кинетическая энергия динамической системы:

$$T = \frac{1}{2} m_0 (\dot{X}_0)^2 + \frac{1}{2} m_1 (\dot{X}_1)^2 + \frac{1}{2} m_2 (\dot{X}_2)^2 + \frac{1}{2} m_3 (\dot{X}_3)^2. \quad (1)$$

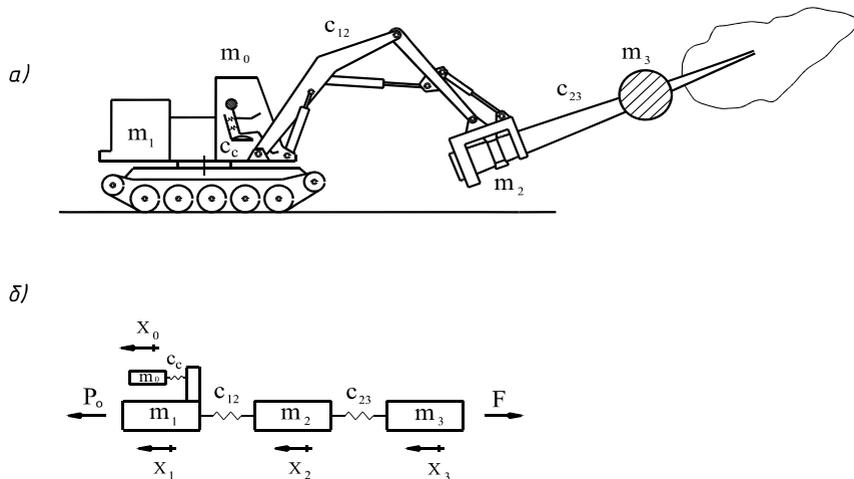


Рис. 1. Расчетные схемы динамической системы «Оператор–ВПМ–предмет труда–дерево»: а – исходная, б – эквивалентная

Fig. 1. Calculation scheme of the dynamic system «Operator–feller buncher–subject of labor–tree»: а – basic, б – equivalent

Потенциальная энергия системы:

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

В соответствии с уравнением Лагранжа 2-го рода получим следующую систему уравнений [Александров, 2023].

$$\begin{matrix} m_1 \\ - \\ m_2 \\ - \\ m_1 \\ - \\ m_2 \end{matrix} \begin{matrix} m_0 \ddot{X}_0 + C_c X_0 = C_c X_1, \\ m_1 \ddot{X}_1 + C_c (X_1 - X_0) + C_{12} (X_1 - X_2) = P_0, \\ m_2 \ddot{X}_2 + C_{23} (X_2 - X_3) = C_{12} (X_1 - X_2), \\ m_3 \ddot{X}_3 + F = C_{23} (X_2 - X_3). \end{matrix} \quad (3)$$

Преобразуя систему уравнений (3), окончательно получим:

$$-(X_1^{VI} - X_0^{VI}) - A(X_1^{IV} - X_0^{IV}) - B(\ddot{X}_1 - \ddot{X}_0) - C(X_1 - X_0) = D, \quad (4)$$

$$A = \left[\frac{m_3 m_2^2 (m_0 + m_1) C_c + [m_2 m_3 (m_1 + m_2) C_{12} + \dots + (m_2 + m_3) m_2 m_1 C_{23}] m_0}{m_0 C_{12} C_{23}} \right] \times \frac{C_{23} C_{12}}{m_3 m_2^2 m_1}, 1/c^2; \quad (5)$$

где

$$B = \left[\frac{[m_2 m_3 (m_1 + m_2) C_{12} + (m_2 + m_3) m_2 m_1 C_{23}] (m_0 + m_1) C_c - m_3 m_2^2 C_c m_0 C_{12} + [(m_2 + m_3) (m_1 + m_2) C_{12} - m_3 C_{12} m_1] m_1 C_{23} m_0}{m_1 C_{23} m_0 C_{12}} \right] \times \quad (6)$$

$$\times \frac{C_{23} C_{12}}{m_3 m_2^2 m_1}, 1/c^4;$$

$$C = \left[\frac{[(m_2 + m_3) (m_1 + m_2) C_{12} - m_3 C_{12} m_1] (m_0 + m_1) C_c - (m_2 + m_3) m_2 C_c m_0 C_{12}}{m_1 m_0 C_{12}} \right] \times \frac{C_{23} C_{12}}{m_3 m_2^2 m_1}, 1/c^6; \quad (7)$$

$$D = \left[\frac{m_2 m_1 C_{12} F - m_3 m_1 C_{12} F_1 + (m_2 + m_3) m_2 P_0 C_{12} + (m_2 + m_3) F_1 m_1 C_{12} - [(m_2 + m_3) (m_1 + m_2) C_{12} - m_3 C_{12} m_1] P_0}{m_1 C_{12}} \right] \times \quad (8)$$

$$\times \frac{C_{23} C_{12}}{m_3 m_2^2 m_1}, M/c^6;$$

Введя новую переменную:

$$X_{01} = (X_1 - X_0) - D/C, \quad (9)$$

получим однородное уравнение вида [Александров, 2022]:

$$X_{01}^{VI} + AX_{01}^{IV} + BX_{01} + CX_{01} = 0. \quad (10)$$

Определяем коэффициенты дифференциального уравнения (10) при исходных данных применительно к ВПМ ЛПМ-19А:

$$m_0 = 80 \text{ кг}; m_1 = 25000 \text{ кг}; m_2 = 2140 \text{ кг}; m_3 = 1023 \text{ кг}; C_{12} = 420 \text{ кН/м};$$

$$C_{23} = 65 \text{ кН/м}; C_c = 5 \text{ кН/м}; V = 2,0 \text{ м}^3; V/t_p = 0,2; 0,4; 0,6; 0,8 \text{ м/с}^2$$

$$A = 306,94 \text{ 1/с}^2; B = 13,947 \cdot 10^3 \text{ 1/с}^4; C = 87146,1 \text{ 1/с}^6.$$

Решая дифференциальное уравнение (10) методом Рунге-Кутты с помощью среды программирования MathCAD при начальных условиях, соответствующих режиму разгона системы, получаем результаты исследований, приведенные в табл. 1 и на рис. 2.

Таблица 1

Характеристики вибрационного воздействия на оператора ВПМ в режиме разгона ($C_c = 5 \text{ кН/м}$)

Characteristics of vibration impact on the operator of feller-buncher in the acceleration mode ($C_c = 5 \text{ kN/m}$)

Характеристики	$v/t_p, \text{ м/с}^2$			
	0,2	0,4	0,6	0,8
$X_{01}, \text{ м}$	0,013	0,024	0,036	0,052
$\dot{X}_{01}, \text{ м/с}$	0,064	0,127	0,191	0,254
$\ddot{X}_{01}, \text{ м/с}^2$	0,388	0,776	1,163	1,551
$Q_{\text{дин.}}, \text{ Н}$	65	120	195	260

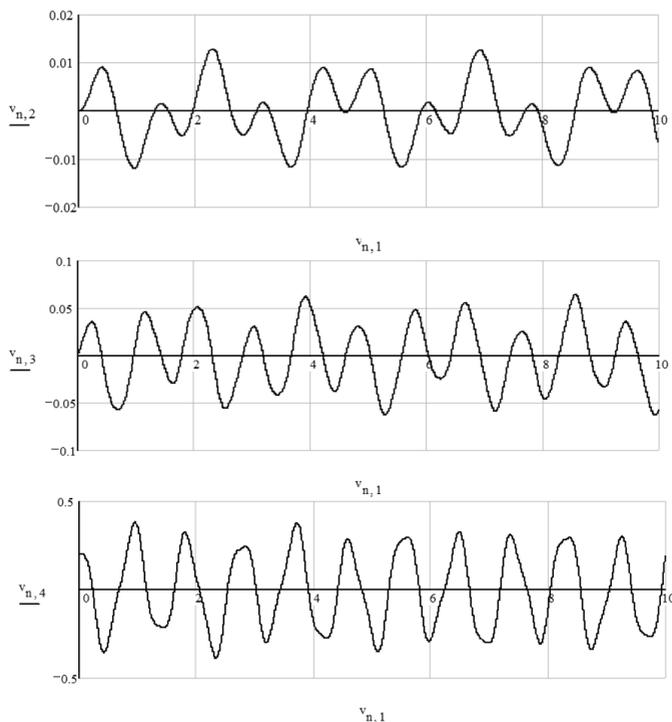


Рис. 2. Графики вибрационного воздействия на оператора ВПМ в режиме разгона при технологическом переезде ($V/t_p = 0,2 \text{ м/с}^2$): $V_{n,2}$ – виброперемещение; $V_{n,3}$ – виброскорость; $V_{n,4}$ – виброускорение

Fig. 2. Plots of vibration impact on the operator of feller-buncher in the acceleration mode at the technological crossing ($V/t_p = 0,2 \text{ m/s}^2$): $V_{n,2}$ – vibration displacement, $V_{n,3}$ – vibration velocity, $V_{n,4}$ – vibration acceleration

Обсуждение. Анализируя полученные расчетные данные, видим, что технологические переезды с деревом в захватно-срезающем устройстве, расположенном горизонтально, сопровождаются более значительным вибровоздействием по сравнению с предыдущими случаями [Александров, 2017]. Так, при разгоне системы виброперемещения оператора на сиденье составляют 0,013...0,052 м. При этом уровень виброускорения при разгоне находится в диапазоне 0,388...1,551 м/с². Наблюдается и значительное динамическое воздействие на оператора (65...260 Н).

Выводы

1. Анализируя полученные расчетные данные видим, что определяющее влияние на уровень вибровоздействия на оператора в режимах разгона оказывает форсирование пускового режима.

2. Для обеспечения нормальных условий работы оператору валочно-пакетирующей машины время разгона при трогании с места при технологических переездах должно быть не менее 3...4 секунд ($V/t_p = 0,2...0,4$ м/с²). Максимальное динамическое воздействие на оператора происходит при интенсивности $V/t_p = 0,5...0,6$ м/с².

3. Разработанная модель системы «оператор – валочно-пакетирующая машина – предмет труда – дерево» позволяет определить вибрационное воздействие на оператора в режимах разгона при трогании с места при технологических переездах с погрешностью 6,0...10%.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Библиографический список

Александров В.А., Александров А.В. Вибронагруженность оператора валочно-пакетирующих машин. СПб.: СПбГЛТУ, 2017. 317 с.

Александров В.А., Александров А.В., Бучников А.А. Вибронагруженность оператора валочно-пакетирующей машины при технологических переездах без груза // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2023. Вып. 243. С. 188–196. DOI 10.21266/2079-4304.2023.243.188-196.

Александров В.А., Александров А.В., Бучников А.А. Вибронагруженность оператора валочно-пакетирующей машины при технологических переездах // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2022. Вып. 239. С. 151–160. DOI 10.21266/2079-4304.2022.239.151-160.

Александров В.А., Александров А.В., Бучников А.А. Вибронагруженность оператора валочно-пакетирующей машины // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2023. Вып. 245. С. 191–199. DOI 10.21266/2079-4304.2023.245.191-199.

Александров В.А., Александров А.В., Бучников А.А. Вибронагруженность оператора валочно-пакетирующей машины в процессе подтрелевки пачки деревьев // *Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2022. Вып. 239. С. 141–150. DOI 10.21266/2079-4304.2022.239.141-150.*

References

Aleksandrov V.A., Aleksandrov A.V. Vibronagruzhennost operatora valochнопакетирuyushchikh mashin. SPb.: SPbGLTU. 2017. 317 p. (In Russ.).

Aleksandrov V.A., Aleksandrov A.V., Buchnikov A.A. Vibration load of the feller buncher machine operator during technological transfers without load. *Izvestia Sankt-Peterburgskoj Lesotehnicoskoj Akademii*, 2023, iss. 243, pp. 188–196. DOI: 10.21266/2079-4304.2023.243.188-196. (In Russ.)

Aleksandrov V.A., Aleksandrov A.V., Buchnikov A.A. Vibration load of fellerbuncher machine operator during technological transfers. *Izvestia Sankt-Peterburgskoj Lesotehnicoskoj Akademii*, 2022, iss. 239, pp. 151–160. DOI: 10.21266/2079-4304.2022.239.151-160. (In Russ.)

Aleksandrov V.A., Aleksandrov A.V., Buchnikov A.A. Vibration load of the feller buncher machine operator. *Izvestia Sankt-Peterburgskoj Lesotehnicoskoj Akademii*, 2023, iss. 245, pp. 191–199. DOI: 10.21266/2079-4304.2023.245.191-199. (In Russ.)

Aleksandrov V.A., Aleksandrov A.V., Buchnikov A.A. Vibration loading of a feller-buncher machine operator in the process of skidding a bunch of trees. *Izvestia Sankt-Peterburgskoj Lesotehnicoskoj Akademii*, 2022, iss. 239, pp. 141–150. DOI: 10.21266/2079-4304.2022.239.141-150. (In Russ.).

Материал поступил в редакцию 07.02.2024

Александров В.А., Александров А.В., Бучников А.А. Вибронагруженность оператора валочно-пакетирующей машины при технологическом переезде с удержанием срезанного дерева в ЗСУ при его горизонтальном расположении // *Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2024. Вып. 249. С. 195–201. DOI: 10.21266/2079-4304.2024.249.195-201*

Разработана динамическая модель системы «Оператор – валочно-пакетирующая машина – предмет труда – дерево». Математическое описание составлено в форме уравнения Лагранжа 2-го рода. Система уравнений решена относительно упругой деформации спинки сидения оператора методом Рунге-Кутты, с помощью среды программирования MathCAD. Апробация модели осуществлена на примере серийно выпускаемых валочно-пакетирующих машин ЛП-19А.

Ключевые слова: валочно-пакетирующая машина, математическая модель, колебания, вибрация, оператор.

Aleksandrov V.A., Aleksandrov A.V., Buchnikov A.A. Vibration load of the feller buncher machine operator during technological transfers without load. *Izvestia Sankt-Peterburgskoj Lesotehničeskoj Akademii*, 2024, iss. 249, pp. 195–201 (in Russian with English summary). DOI: 10.21266/2079-4304.2024.249.195-201

A dynamic model of the "operator-feller-buncher machine-object of labor-tree" has been developed. The mathematical description is in the form of the Lagrange equation of the second kind. The system of equations is solved for the elastic deformation of the operator's seat back by the Runge-Kutta method, using the MathCAD programming environment. Approbation of the model was carried out on the example of commercially available feller-bunchers machines LP-19A.

Keywords: feller buncher machine, mathematical model, fluctuations, vibration, operator.

АЛЕКСАНДРОВ Валентин Александрович – профессор Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета имени С.М. Кирова, доктор технических наук, профессор.

194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия. E-mail: ftacademy@home.ru

ALEKSANDROV Valentin A. – DSc (Technical), professor, St.Petersburg State Forest Technical University.

194021. Institute per. 5. St. Petersburg. Russia. E-mail: ftacademy@home.ru

АЛЕКСАНДРОВ Алексей Валентинович – доцент Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета имени С.М. Кирова, кандидат технических наук.

194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия. E-mail: ftacademy@home.ru

ALEKSANDROV Aleksei V. – PhD (Technical), Associate Professor, St.Petersburg State Forest Technical University.

194021. Institute per. 5. St. Petersburg. Russia. E-mail: ftacademy@home.ru

БУЧНИКОВ Александр Андреевич – аспирант Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета имени С.М. Кирова.

194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия. E-mail: ftacademy@home.ru

BUCHNIKOV Aleksandr A. – PhD student, St.Petersburg State Forest Technical University.

194021. Institute per. 5. St. Petersburg. Russia. E-mail: ftacademy@home.ru