

В.А. Александров, А.В. Александров, Г.Ш. Гасымов

**НАГРУЖЕННОСТЬ ВАЛОЧНО-ПАКЕТИРУЮЩЕЙ МАШИНЫ
НА РУБКАХ УХОДА ЗА ЛЕСОМ
ПРИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПЕРЕЕЗДАХ**

Введение. Экспериментальными исследованиями [Александров, 1984] установлено, что значительные динамические нагрузки действуют на валочно-пакетирующую машину не только в процессе пакетирования дерева, но и при технологических переездах. В этой связи при проектировании новых или модернизации серийно выпускаемых валочно-пакетирующих машин необходимо эти нагрузки учитывать.

Методика исследования. В основу исследования положен метод математического моделирования [Александров, 1995]. На рис. 1 представлена расчётная схема динамической системы «Валочно-пакетирующая машина – предмет труда – дерево». Принятые обозначения:

m_1, m_2, m_3 – приведенные массы соответственно машины, манипулятора с ЗСУ, дерева;

X_1, X_2, X_3 – обобщённые координаты приведенных масс соответственно m_1, m_2, m_3 ;

c_{12}, c_{23} – соответственно приведенные жёсткости манипулятора и дерева;

P_0 – касательная сила тяги;

F_b – сопротивление перемещению дерева.

Кинетическая энергия системы:

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

Потенциальная энергия системы:

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

В соответствии с уравнением Лагранжа 2-го рода получим следующую систему уравнений:

$$\begin{array}{l} -m_2 \left| \begin{array}{l} m_1 \ddot{X}_1 + c_{12}(X_1 - X_2) = P_0, \\ m_2 \ddot{X}_2 + c_{23}(X_2 - X_3) = c_{12}(X_1 - X_2), \\ m_3 \ddot{X}_3 + F_b = c_{23}(X_2 - X_3). \end{array} \right. \end{array} \quad (1)$$

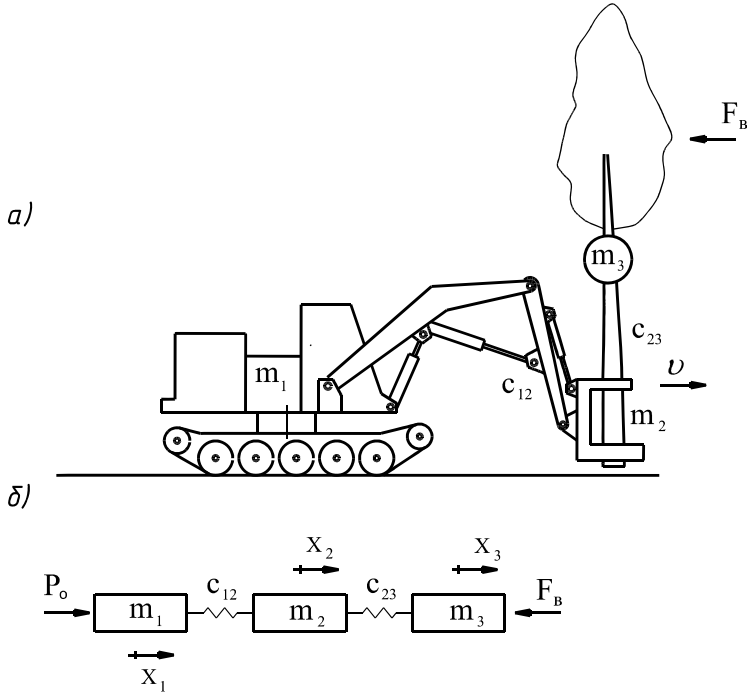


Рис. 1. Расчётные схемы динамической системы «ВПМ – дерево»: а – исходная; б – эквивалентная

Fig. 1. Calculation schemes of the dynamic system «Feller buncher – tree»: a – initial scheme; b – equivalent scheme

Домножим уравнение (1) системы (1) на m_2 , уравнение (2) на m_1 , уравнение (2) на m_3 , а уравнение (3) на m_2 и вычтем из первых вторые, то есть:

$$m_1 m_2 (\ddot{X}_1 - \ddot{X}_2) + m_2 c_{12} (X_1 - X_2) - m_1 c_{23} (X_2 - X_3) = m_2 P_0 - m_1 c_{12} (X_1 - X_2). \quad (2)$$

$$m_2 m_3 (\ddot{X}_2 - \ddot{X}_3) + m_3 c_{23} (X_2 - X_3) - m_2 F_B = m_3 c_{12} (X_1 - X_2) - m_2 c_{23} (X_2 - X_3). \quad (3)$$

Из уравнения (2) выразим $(X_2 - X_3) \dots (\ddot{X}_2 - \ddot{X}_3)$:

$$(X_2 - X_3) = \frac{m_2}{c_{23}} (\ddot{X}_1 - \ddot{X}_2) + \frac{m_2 c_{12}}{m_1 c_{23}} (X_1 - X_2) - \frac{m_2 P_0}{m_1 c_{23}} + \frac{c_{12}}{c_{23}} (X_1 - X_2),$$

$$(\ddot{X}_2 - \ddot{X}_3) = \frac{m_2}{c_{23}} (X_1^{IV} - X_2^{IV}) + \frac{m_2 c_{12}}{m_1 c_{23}} (\ddot{X}_1 - \ddot{X}_2) + \frac{c_{12}}{c_{23}} (\ddot{X}_1 - \ddot{X}_2).$$

Значения для $(X_2 - X_3) \dots (\ddot{X}_2 - \ddot{X}_3)$ подставим в уравнение (3) и преобразуем:

$$\frac{m_2^2 m_3}{c_{23}} (X_1^{IV} - X_2^{IV}) + \left[\frac{m_2^2 m_3 c_{12}}{m_1 c_{23}} + \frac{m_2 m_3 c_{12}}{c_{23}} + m_3 m_2 - m_2^2 \right] \cdot (\ddot{X}_1 - \ddot{X}_2) + \left[\frac{m_2 c_{12} m_3}{m_1} - m_3 c_{12} + \frac{m_2^2 c_{12}}{m_1} + m_2 c_{12} \right] (X_1 - X_2) = \frac{m_2 m_3 P_0}{m_1} + m_2 F_B + \frac{m_2^2 P_0}{m_1}. \quad (4)$$

Обозначим:

$$A = \frac{m_2^2 m_3 c_{12} + m_2 m_3 c_{12} m_1 + m_3 m_1 c_{23} m_2 - m_2^2 m_1 c_{23}}{m_1 m_2^2 m_3};$$

$$B = \left[\frac{m_2 c_{12} m_3 - m_3 c_{12} m_1 + m_2^2 c_{12} + m_2 m_1 c_{12}}{m_1} \right] \frac{c_{23}}{m_2^2 m_3};$$

$$C = \left[\frac{m_2 m_3 P_0 + m_2 F_B m_1 + m_2^2 P_0}{m_1} \right] \frac{c_{23}}{m_2^2 m_3}.$$

Таким образом, окончательно имеем:

$$(X_1^{IV} - X_2^{IV}) + A(\ddot{X}_1 - \ddot{X}_2) + B(X_1 - X_2) = C, \quad (5)$$

где A, B, C – постоянные коэффициенты.

Введя новую переменную $X_0 = (X_1 - X_2) - C/B$, получим однородное уравнение:

$$\frac{d^4 X_0}{dt^4} + A \frac{d^2 X_0}{dt^2} + B X_0 = 0. \quad (6)$$

Характеристическое уравнение имеет вид:

$$k^4 + A k^2 + B = 0. \quad (7)$$

Решением однородного уравнения будет:

$$X_0 = C_1 \sin k_1 t + C_2 \cos k_1 t + C_3 \sin k_2 t + C_4 \cos k_2 t,$$

где $k_{1,2}^2 = \frac{1}{2} \left[\frac{m_2^2 m_3 c_{12} + m_2 m_3 c_{12} m_1 + m_3 m_1 c_{23} m_2 - m_2^2 m_1 c_{23}}{m_1 m_2^2 m_3} \right] \pm$

$$\pm \sqrt{\left\{ \frac{1}{2} \left[\frac{m_2^2 m_3 c_{12} + m_2 m_3 c_{12} m_1 + m_3 m_1 c_{23} m_2 - m_2^2 m_1 c_{23}}{m_1 m_2^2 m_3} \right] \right\}^2 -$$

$$\dots \left[\frac{m_2 c_{12} m_3 - m_3 c_{12} m_1 + m_2^2 c_{12} + m_2 m_1 c_{12}}{m_1 m_2^2 m_3} \right] c_{23} \dots}$$

Результаты исследований. Пример. Исходные данные примем применительно к ВПМ ЛП-19А:

$$m_1 = 25000 \text{ кг}; m_2 = 2140 \text{ кг}; V = 2,0 \text{ м}^3; (G_d = 20000 \text{ Н}, \\ c_{23} = 65 \text{ кН / м}); m_3 = 1023 \text{ кг}; c_{12} = 420 \text{ кН / м}.$$

1. Определяем коэффициенты дифференциального уравнения (6):

$$A = 238,32 \text{ 1/с}^2 \quad B = 8086,92 \text{ 1/с}^4; \quad k_1 = 14,04 \text{ 1/с}; \quad k_2 = 6,42 \text{ 1/с}.$$

2. В качестве начальных условий примем:

– в режиме разгона (трогания) с места

$$\dot{X}_0 = 0,2; 0,3; 0,4; 0,5 \text{ м/с}^2, \quad X_0 = \dot{X}_0 = \ddot{X}_0 = 0;$$

– в режиме стопорения

$$\dot{X}_0 = 0,01; 0,02; 0,03; 0,04 \text{ м/с}, \quad X_0 = \dot{X}_0 = \ddot{X}_0 = 0.$$

3. Решая уравнение (6) методом Рунге-Кутта, получим результаты, приведённые в табл. 1, 2, а на рис. 2, 3 характер динамического воздействия на машину.

Таблица 1

Расчётные характеристики динамической системы в режиме разгона

The calculated characteristics of a dynamic system in acceleration mode

Характеристики	$\ddot{X}_0, \text{ м/с}^2$			
	0,2	0,3	0,4	0,5
$X_0, \text{ м}$	0,003	0,004	0,005	0,006
$\dot{X}_0, \text{ м/с}$	0,026	0,039	0,052	0,065
$\ddot{X}_0, \text{ м/с}^2$	0,303	0,455	0,607	0,759
$\Theta_{\text{дин.}}^{\text{доб.}}, \text{ Н}$	1260	1680	2100	2520

Таблица 2

Расчётные характеристики динамической системы в режиме стопорения

The calculated characteristics of a dynamic system in stopping mode

Характеристики	$\dot{X}_0, \text{ м/с}$			
	0,01	0,02	0,03	0,04
$X_0, \text{ м}$	0,002	0,004	0,006	0,009
$\dot{X}_0, \text{ м/с}$	0,015	0,030	0,045	0,06
$\ddot{X}_0, \text{ м/с}^2$	0,118	0,235	0,353	0,470
$\Theta_{\text{дин.}}^{\text{доб.}}, \text{ Н}$	840	1680	2520	3780

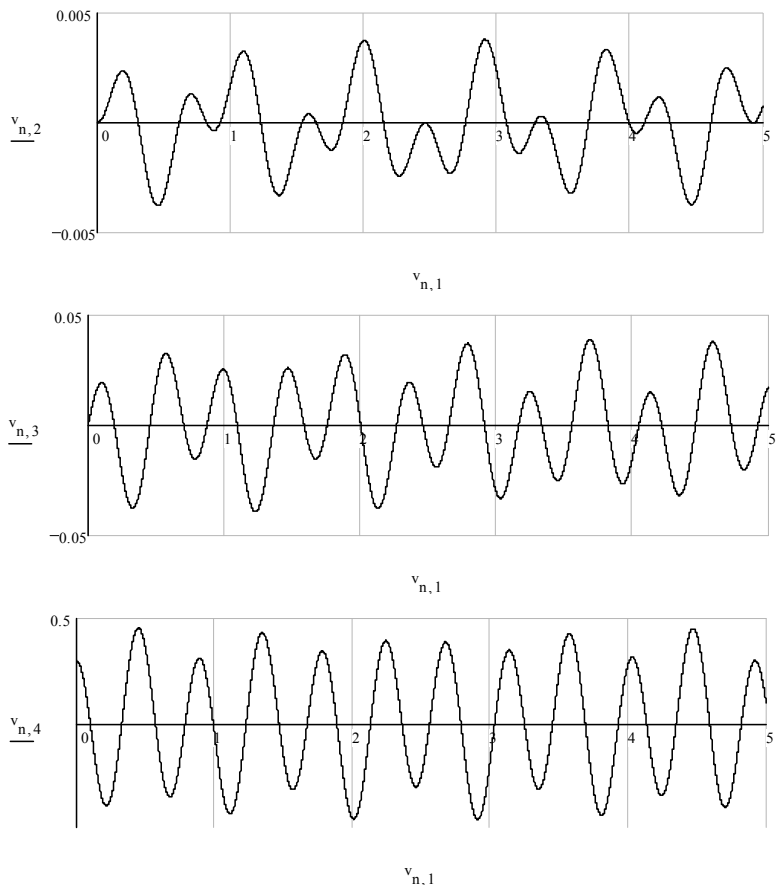


Рис. 2. Графики динамического воздействия на ВПМ в режиме разгона ($\ddot{X}_0 = 0,3 \text{ м/с}^2$): $v_{n,2}$ – деформация упругой связи c_{12} ; $v_{n,3}$ – скорость деформации; $v_{n,4}$ – ускорение деформации

Fig. 2. Graphs of dynamic effects on the feller buncher in acceleration mode ($\ddot{X}_0 = 0,3 \text{ м/с}^2$): $v_{n,2}$ – elastic bond deformation c_{12} ; $v_{n,3}$ – deformation speed; $v_{n,4}$ – deformation acceleration

Анализ результатов даёт основание считать, что уровень динамического воздействия на валочно-пакетирующую машину при технологических переездах по лесосеке значителен.

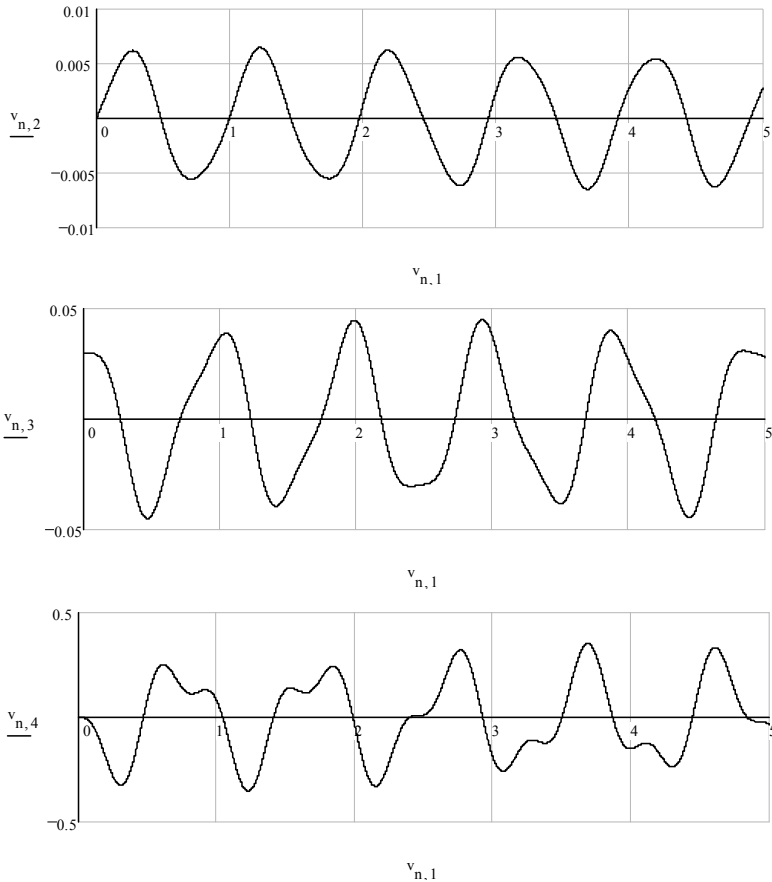


Рис. 3. Графики динамического воздействия на ВПМ в режиме стопорения ($\dot{X}_0 = 0,03 \text{ м/с}$): $v_{n,2}$ – деформация упругой связи c_{12} ; $v_{n,3}$ – скорость деформации; $v_{n,4}$ – ускорение деформации

Fig. 2. Graphs of dynamic effects on the feller buncher in stopping mode ($\ddot{X}_0 = 0,3 \text{ м/с}^2$): $v_{n,2}$ – elastic bond deformation c_{12} ; $v_{n,3}$ – deformation speed; $v_{n,4}$ – deformation acceleration

Выводы.

1. В процессе трогания валочно-пакетирующей машины с места при технологических переездах с деревом в захватно-срезающем устройстве на технологическое оборудование действует значительная динамическая на-

грузки, сопоставимая с нагрузкой в режимах обработки дерева. В зависимости от ускорения разгона она составляет 1260...2520 Н. В режимах стопорения уровень динамической нагрузки имеет тот же порядок.

2. Разработанная математическая модель позволяет произвести оценку нагруженности валочно-пакетирующей машины при технологических переездах по лесосеке на этапе разработки конструкторской документации.

Библиографический список

Александров В.А. Динамические нагрузки в лесосечных машинах. Л.: ЛГУ, 1984. 152 с.

Александров В.А. Моделирование технологических процессов лесных машин. М.: Экология, 1995. 256 с.

References

Aleksandrov V.A. Dynamic loads in logging machines. Leningrad: Leningrad State University, 1984. 152 p.

Aleksandrov V.A. Modeling technological processes of forest machines. Moscow: Ecology, 1995. 256 p.

Материал поступил в редакцию 30.10.2018 г.

Александров В.А., Александров А.В., Гасымов Г.Ш. Нагруженность валочно-пакетирующей машины на рубках ухода за лесом при технологических переездах // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2018. Вып. 225. С. 168–175. DOI: 10.21266/2079-4304.2018.225.168-175

Разработана математическая модель динамической системы: «Валочно-пакетирующая машина – предмет труда – дерево». Математическое описание составлено в форме уравнения Лагранжа 2-го рода. Система уравнений решена методом Рунге–Кутты, с помощью среды программирования MathCAD. Апробация модели осуществлена на примере серийно выпускаемых валочно-пакетирующих машин ЛП – 19А в режимах разгона и стопорения. Установлено, что динамическая нагрузка на технологическое оборудование при технологических переездах сопоставима с нагрузкой при обработке (пакетировании) дерева.

Ключевые слова: валочно-пакетирующая машина, математическая модель, динамическая нагрузка.

Aleksandrov V.A., Aleksandrov A.V., Gasymov G.Sh. Stresses of feller buncher on thinnings during technological moves. *Izvestia Sankt-Peterburgskoj Lesotehniceskoy Akademii*, 2018, is. 225, pp. 168–175 (in Russian with English summary). DOI: 10.21266/2079-4304.2018.225.168-175

A mathematical model of a dynamic system has been developed: «The feller buncher – subject of labor – the tree». The mathematical description is made up in the form of the Lagrange equation of the 2nd kind. The system of equations is solved by the Runge–Kutta method, using the MathCAD programming environment. Approbation of the model is carried out on the example of the commercially available LP-19A feller buncher machines in acceleration and stopping modes. Concluded that the dynamic load on the process equipment during technological moves is comparable to the load during the processing (packaging) of the tree.

Keywords: feller buncher, mathematical model, dynamic load.

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

194021, Институтский пер., д. 5, лит. У, Санкт-Петербург, Россия. E-mail: 2944218@mail.ru

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

194021. Institute per. 5. St. Petersburg. Russia. E-mail: 2944218@mail.ru

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

194021, Институтский пер., д. 5, лит. У, Санкт-Петербург, Россия. E-mail: 2944218@mail.ru

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

194021. Institute per. 5. St. Petersburg. Russia. E-mail: 2944218@mail.ru

ГАСЫМОВ Гасымали Шукюрович – профессор Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета имени С.М. Кирова, доктор технических наук.

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

GASYMOV Gasy mali Sh. – DSc (Technical), St.Petersburg State Forest Technical University.

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