

## Нагрузки в элементах валочно-трелевочной машины в процессе пакетирования дерева

Александров В.А.<sup>1</sup>

Санкт-Петербургская лесотехническая академия

Разработаны математические модели для определения характера и уровня динамических нагрузок в упругих связях валочно-трелевочных машин при пакетировании деревьев.

**Ключевые слова:** динамические нагрузки, манипулятор, проектирование.

Ранее, в работах [1, 2], нами получены аналитические зависимости, позволяющие определить динамическое воздействие на манипулятор и базу при ударе дерева о грунт и мгновенной разгрузке. В последнем случае воздействие на технологическое оборудование и машину передается по двум направлениям:

1. От мгновенной разгрузки захватно-срезающего устройства машина совершает "подскок". При этом воздействие передается через манипулятор на базу.
2. Освобожденное дерево наносит ударное воздействие через приемное устройство (коник) машине и затем манипулятору.

В данной статье остановимся на определении динамических нагрузок в элементах машины от ударного воздействия дерева на коник. В качестве расчетного примем режим работы - пакетирование дерева в момент удара вершины о грунт находится в захватно-срезающем устройстве, затем при остановленном манипуляторе освобождается и падает с некоторой высоты в коник.

Рассматриваемую задачу будем решать в два этапа:

- на первом этапе определяем ударный импульс и перемещение под его воздействием поддресоренной базы;
- на втором этапе определяем динамические нагрузки в упругих связях технологического оборудования и машины.

1. Для определения импульса ударной силы при встрече дерева с опорой коника используем теорему изменения количества движения и момента количества движения, т.е.

$$I \cdot (\omega_2 - \omega_1) = -S \cdot a, \quad (1)$$

где

$I$  - момент инерции тела (дерева) относительно оси поворота;

$a$  - расстояние опоры от оси поворота;

$\omega_1, \omega_2$  - угловые скорости дерева в начале (до удара) и в конце падения (после удара).

Учитывая, что угловая скорость  $\omega_1$  может быть найдена по формуле (2) (см. рис. 1)

$$\omega_1 = \sqrt{\frac{2Mgh_c \cdot (\cos\varphi_0 - \cos\varphi_k)}{I}} \quad (2)$$

и принимая  $\omega_2 = 0$ , получим выражение для ударного импульса

$$S = \frac{I \sqrt{2Mgh_c / I \cdot (\cos\varphi_0 - \cos\varphi_k)}}{a} \quad (3)$$

Дифференциальное уравнение для координаты  $\varphi$ , отсчитываемой от положения равновесия, будет

$$m \ddot{\varphi} + c_p \dot{\varphi} = 0 \quad (4)$$

Здесь  $m$  - приведенная масса поддресоренной базы валочно-трелевочной машины;  $c_p$  - приведенная жесткость подвески базы.

В момент после ударного импульса  $\varphi_0 = 0$ . Скорость массы (груза) получает мгновенное приращение, определяемое из теоремы об изменении количества движения:

$$m \dot{\varphi}_0 l - 0 = S.$$

Начальные условия и общее решение уравнения (4) соответственно имеют вид:

$$\begin{aligned} \varphi_0 &= 0; & \dot{\varphi}_0 &= \frac{S}{ml}; \\ \varphi &= C_1 \sin kt + C_2 \cos kt. \end{aligned} \quad (5)$$

Отсюда

$$C_1 = \frac{S}{mkl} \quad \text{и} \quad C_2 = 0.$$

Подставляя значения постоянных и ударного импульса, окончательно получим

$$\varphi = \frac{I \sqrt{2Mgh_c (\cos\varphi_0 - \cos\varphi_k)}}{amkl} \sin kt \quad (6)$$

Учитывая, что  $Z_0 \approx l\varphi$ , имеем

$$Z_0 = \frac{I \sqrt{2Mgh_c (\cos\varphi_0 - \cos\varphi_k)}}{amk} \sin kt \quad (7)$$

2. Для определения динамических нагрузок в упругих связях лесосечной машины необходимо рассмотреть движение масс механической системы.

На рис.1 представлена двухмассовая расчетная схема механической системы, включающая приведенные массы поддресоренной базы и опорно-поворотной

<sup>1</sup> Автор - профессор, зав.кафедрой проектирования лесных машин

конструкции манипулятора  $m_0$  и манипулятора с захватно-срезающим устройством  $m_2$ , соединенные упругими невесомыми связями  $C_0$  и  $C_{12}^{MG}$ .

Составляя уравнения движения масс в форме уравнения Лагранжа второго рода и осуществив ряд преобразований, получим

$$Z_{0,n} = \frac{Z_{0,n}^p (1 - \frac{k^2}{p_2^2})}{(1 + \frac{c_{12}^{MG}}{c_0} - \frac{k^2}{p_0^2})(1 - \frac{k^2}{p_2^2}) - \frac{c_{12}^{MG}}{c_0}},$$

$$Z_2 = \frac{Z_{0,n}^p}{(1 + \frac{c_{12}^{MG}}{c_0} - \frac{k^2}{p_0^2})(1 - \frac{k^2}{p_2^2}) - \frac{c_{12}^{MG}}{c_0}}. \quad (8)$$

Здесь  $Z_{0,n}^p = Z_0 \cdot \frac{r_0}{l}$ ;  $p_0 = \sqrt{\frac{c_0}{m_0}}$ ;  $p_2 = \sqrt{\frac{c_{12}^{MG}}{m_2}}$ .

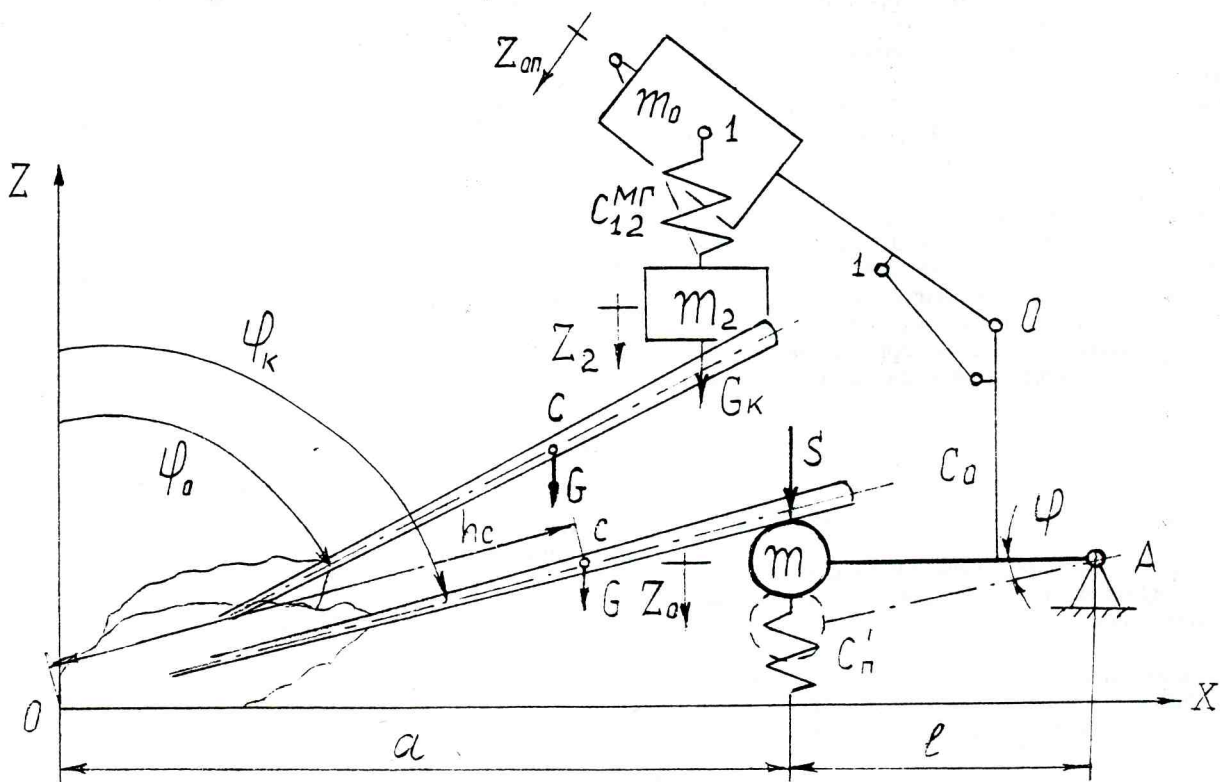


Рис. 1. Расчетная схема

После нахождения  $Z_{0п}$  и  $Z_2$  можно определить нагрузку на базу и манипулятор. Кроме того, как отмечалось выше, с освобождением дерева из захватов машина совершает "подскок" в обратном направлении. Поэтому для определения результирующих нагрузок в элементах валочно-трелевочной машины необходимо проанализировать и воздействие со стороны манипулятора на базу.

При этом амплитуды колебаний масс могут быть найдены [2]:

$$Z_0 = A_1 \sin(p_1 t + \alpha_1) + A_2 \sin(p_2 t + \alpha_2),$$

$$Z_2 = \mu_1 A_1 \sin(p_1 t + \alpha_1) + \mu_2 A_2 \sin(p_2 t + \alpha_2),$$

где

$$\mu_1 = \frac{c_{12}^{MГ}}{c_{12}^{MГ} - m_2 p_1^2}; \quad \mu_2 = \frac{c_{12}^{MГ}}{c_{12}^{MГ} - m_2 p_2^2}; \quad A_1 = \frac{\dot{Z}_{20}}{p_1 (\mu_1 - \mu_2)};$$

$$A_2 = \frac{\dot{Z}_{20}}{p_2 (\mu_2 - \mu_1)}; \quad \dot{Z}_{20} = \sqrt{2 \Delta m g Z_{20} / m_2},$$

где  $\Delta m$  - масса дерева, приходящаяся на манипулятор;  $Z_{20} = P_2 / c_{12}^{MГ}$  - начальная деформация манипулятора от дерева.

Для построения графика результирующего воздействия необходимо также знать время падения дерева с момента освобождения из захватов до удара о коник. Для этих целей можно воспользоваться зависимостью вида [3]

$$t \approx 0.243 \sqrt{H} \cdot \ln \frac{\varphi_k}{\varphi_0}$$

или [4]

$$t = \sqrt{\frac{hc}{2g\lambda}} \cdot \ln \frac{\operatorname{tg}(\varphi/4)}{\operatorname{tg}(\varphi_0/4)},$$

где  $\lambda = mh_c^2 / I_0$ .

*Пример* (применительно к ВТМ ЛП-17 А).

Рассмотрим пример при следующих исходных данных: объем дерева  $V = 1.0 \text{ м}^3$ ; высота  $H = 28 \text{ м}$ ; расстояние от комля до центра тяжести  $h_T = 11.2 \text{ м}$ ;  $h_c = 16.8 \text{ м}$ ;  $\varphi_0 = 77^\circ$ ;  $\varphi_k = 83^\circ$ ;  $a = 27.8 \text{ м}$ ;  $I = 1.73 \cdot 10^5 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$ ; масса дерева  $M = 1060 \text{ кг}$ ;  $m = 3400 \text{ кг}$ ;  $C_{12}^{MГ} = 1160 \text{ кН/м}$ ;  $m_2 = 836 \text{ кг}$ ;  $c'_n = 1400 \text{ кН/м}$ ;  $l = 1.75 \text{ м}$ ;  $\Gamma_0 = 3 \text{ м}$ ;  $c_0 = 554 \text{ кН/м}$ .

1. Определяем по формуле (7) максимальное перемещение массы  $m$  от воздействия ударного импульса

$$Z_0 = \frac{1.73 \cdot 10^5 \sqrt{2 \cdot 1060 \cdot 9.8 \cdot 16.8 (\cos 77^\circ - \cos 83^\circ)}}{27.8 \cdot 3400 \cdot \sqrt{\frac{1.73 \cdot 10^5}{3400}}} = 0.041 \text{ м}.$$

2. По формулам (8) находим максимальное перемещение масс  $m_0$  и  $m_2$  от воздействия ударного импульса через базу машины

$$Z_{0п} = \frac{0.04 \cdot 3.0 / 1.75 \cdot (1 - 20.3^2 / 37^2)}{(1 + 1160 / 554 - 20.3^2 / 16^2) \cdot (1 - 20.3^2 / 37^2) - 1160 / 554} = -0.0463 \text{ м},$$

$$Z_2 = \frac{0.04 \cdot 3.0 / 1.75}{(1 + 1160 / 554 - 20.3^2 / 16^2) \cdot (1 - 20.3^2 / 37^2) - 1160 / 554} = -0.0653 \text{ м}.$$

Здесь  $k = \sqrt{\frac{c'_n}{m}} \approx 20.3 \text{ 1/с}$ ;  $p_0 = \sqrt{\frac{c_0}{m_0}} \approx 16 \text{ 1/с}$ ;

$$p_2 = \sqrt{\frac{c_{12}^{MГ}}{m_2}} \approx 37 \text{ 1/с}.$$

3. Максимальные нагрузки в упругих связях  $c_{12}^{MГ}$  и  $c_0$  соответственно составят:

$$Q_{12}^{C_{12}^{MГ}} = 1160 (-0.0653 + 0.0463) = 22.04 \text{ кН},$$

$$Q_{доб}^{C_0} = 554 (-0.0463 + 0.040 \cdot 3.0 / 1.75) = 12.57 \text{ кН}.$$

Перемещения масс соответственно будут:

$$Z_{0п} = -0.0463 \sin 20.3t \text{ и } Z_2 = -0.0653 \sin 20.3t.$$

4. Определяем перемещения масс  $m_0$  и  $m_2$  в режиме "подскока".

В нашем случае:  $P_2 \approx 0.3G$ ;

$$Z_{20} = 0.3 \cdot 10 / 1160 \approx 0.0026 \text{ м}; \quad \Delta m = 318 \text{ кг};$$

$$\dot{Z}_{20} = \sqrt{\frac{2 \cdot 318 \cdot 10 \cdot 0.0026}{836}} \approx 0.14 \text{ м/с}.$$

5. Находим частоты колебаний

$$p_{1,2}^2 = \frac{1}{2} \left( \frac{(554 + 1160)10^3}{2144} + \frac{1160 \cdot 10^3}{836} \right) \pm$$

$$\pm \sqrt{\frac{1}{4} \left( \frac{10^3(554 + 1160)}{2144} + \frac{1160 \cdot 10^3}{836} \right)^2 -$$

$$\frac{554 \cdot 1160 \cdot 10^6}{2144 \cdot 836} = 1093.5 \pm 693.$$

$$p_1 = 42.3 \text{ 1/с}; \quad p_2 = 20.01 \text{ 1/с}.$$

Тогда

$$\mu_1 = \frac{1160 \cdot 10^3}{1160 \cdot 10^3 - 836 \cdot 42.3^2} = -3.5;$$

$$\mu_2 = \frac{1160 \cdot 10^3}{1160 \cdot 10^3 - 836 \cdot 20.01^2} = 1.4;$$

$$A_1 = \frac{0.14}{42.3 (-3.5 - 1.4)} = -0.00068 \text{ м};$$

$$A_2 = \frac{0.14}{20.01 (1.4 + 3.5)} = 0.00143 \text{ м}.$$

Таким образом,

$$Z_0 = -0.068 \sin(42.3t + \alpha_1) + 0.143 \sin(20.01t + \alpha_2),$$

$$Z_2 = (-3.5)(-0.068) \sin(42.3t + \alpha_1) + 1.4 \cdot 0.143 \sin(20.01t + \alpha_2).$$

## 6. Определяем время падения дерева

$$t = 0.243\sqrt{28 \ln 83/77} \approx 0.096 \text{ с.}$$

По результатам вычислений на рис.2 приведен график перемещений масс механической системы. Из графика видно, что перемещение масс под влиянием мгновенной разгрузки манипулятора по сравнению с перемещениями от ударного воздействия несущественно.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. При валке дерева непосредственно в коник в упругих связях валочно-трелевочной машины наблюдаются динамические нагрузки, превышающие нагрузки при выполнении технологических операций.

2. Математическая модель системы валочно-трелевочная машина - предмет труда позволяет с допустимой погрешностью (до 10%) определить динамические нагрузки в упругих связях на этапе проектирования.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Александров В.А. Динамические нагрузки в лесосечных машинах. Л.: ЛГУ, 1984. 152 с.
2. Александров В.А. Моделирование технологических процессов лесных машин. М.: Экология, 1995. 256 с.
3. Баринов К.Н., Александров В.А. Проектирование лесопромышленного оборудования. Л.: ЛГУ, 1988. 240 с.
4. Андронов В.В. Динамические модели падающего дерева. М.: МГУЛ, 1993. 44 с.

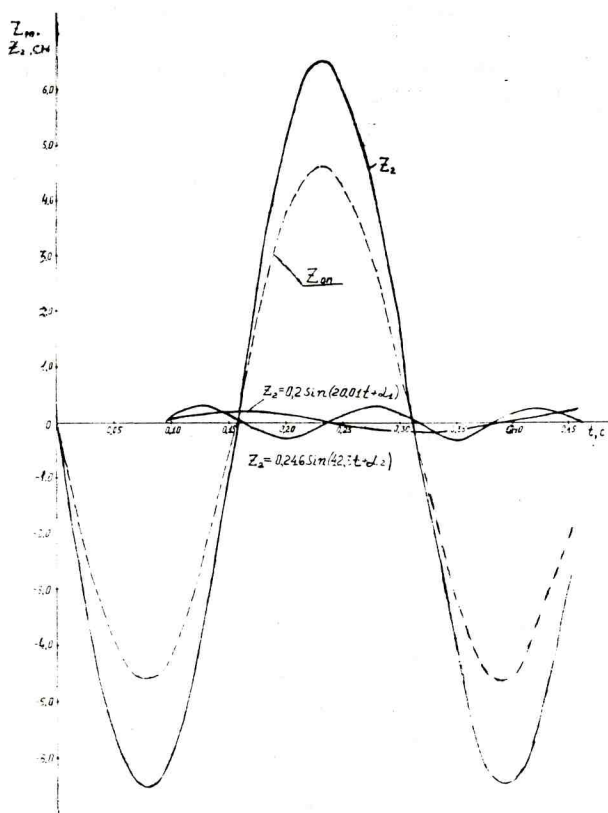


Рис.2. График перемещения масс механической системы, связанных с пакетированием дерева с грунта; определяющее нагружение происходит от ударного воздействия дерева на коник