

МОДЕЛИРОВАНИЕ КОЛЕБАНИЙ ГРУЗА ПРИ ПЕРЕМЕЩЕНИИ ТЕЛЕЖКИ МОСТОВОГО КРАНА

Хиценко А.И., Бежин С.Р. (ДонНТУ, г. Донецк, Украина)

При работе мостового крана происходит постоянное чередование направления движения крана, тележки и крюка. Одной из актуальных задач является оптимизация режимов работы грузовой тележки с целью уменьшить динамические нагрузки на механизм перемещения тележки и избежать колебаний груза, закрепленного на гибком подвесе.

Вопросы оптимизации режимов движения крановых механизмов рассматриваются в работах таких ученых как В.С. Ловейкин, В.Ф. Ярошенко, В.П. Балашов, Н.А. Лобов, Б.В. Квартальнов, В.И. Ключев, Ю.А. Борцов, Б.Ш. Бургин, В.Н. Тищенко, Г.Г. Соколовский, Р.П. Герасимьяк, И.Я. Браславский и др. В работе [1] поставлена и решена задача выбора оптимальных законов движения крановой тележки, при которых колебания исчезали на протяжении переходных режимов ее движения и которые не приводили бы к значительным нагрузкам на конструкцию. Недостатком данной работы является не учет параметров груза (положения центра тяжести и момента инерции).

Целью работы является оценка колебаний груза при движении тележки с учетом его параметров, а также упругих и инерционных характеристик конструкции мостового крана.

Для исследования движения грузоподъемного механизма была составлена трех массовая динамическая модель (рис. 1).

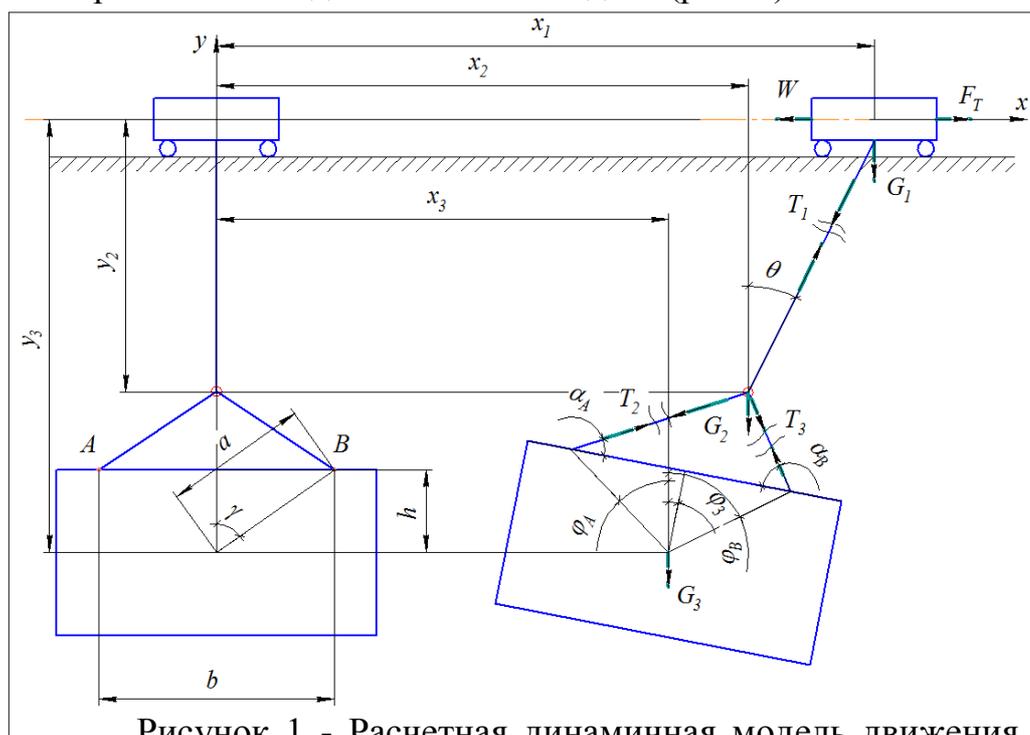


Рисунок 1 - Расчетная динамическая модель движения грузоподъемного механизма мостового крана

На рисунке 1: G_1 – сила тяжести грузоподъемной тележки; G_2 – сила тяжести крюка; G_3 – сила тяжести груза; F_T – суммарное тяговое усилие; W – сила сопротивления движению тележки; T_1 – сила натяжения каната; T_2, T_3 – силы натяжения строп; φ_3 – угол поворота груза; α_A, α_B – углы наклона строп относительно линии, проходящей через точки их крепления к грузу (отрезок АВ); θ – угол отклонения каната от начального положения.

Используя уравнения движения твердого тела [2], составлена система дифференциальных уравнений, характеризующих данную модель

$$\left\{ \begin{array}{l} \ddot{x}_1 = \frac{1}{m_1} \cdot (-T_1 \cdot \sin(\theta) + F_T - W); \\ \ddot{y}_1 = 0; \\ \ddot{x}_2 = \frac{1}{m_2} \cdot (T_1 \cdot \sin(\theta) - T_2 \cdot \cos(\alpha_A) + T_3 \cdot \cos(\alpha_B)); \\ \ddot{y}_2 = \frac{1}{m_2} \cdot (T_1 \cdot \cos(\theta) - T_2 \cdot \sin(\alpha_A) - T_3 \cdot \sin(\alpha_B) - G_2); \\ \ddot{x}_3 = \frac{1}{m_3} \cdot (T_2 \cdot \cos(\alpha_A) - T_3 \cdot \cos(\alpha_B)); \\ \ddot{y}_3 = \frac{1}{m_3} \cdot (T_2 \cdot \sin(\alpha_A) + T_3 \cdot \sin(\alpha_B) - G_3); \\ \ddot{\varphi}_3 = \frac{1}{I_3} \cdot (T_2 \cdot a \cdot \cos(\alpha_A - \gamma) - T_3 \cdot a \cdot \cos(\alpha_B - \gamma)); \end{array} \right.$$

где $T_1 = k_1 \cdot \Delta l_1 + \beta \cdot \Delta \dot{l}_1$ - сила натяжения каната;

$k_1 = \frac{E \cdot S_1}{l_1}$ - коэффициент жесткости каната;

E - модуль упругости материала каната и строп;

$S_1 = c \frac{\pi \cdot d_1^2}{4}$ - площадь сечения каната;

d_1 - диаметр каната;

c - коэффициент заполнения сечения каната и строп;

$\Delta l_1 = l_1 - l_{10}$ - удлинение каната;

$l_1 = \sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2}$ - длина каната во время движения;

l_{10} - длина каната в свободном состоянии;

$$\Delta \dot{l}_1 = \frac{1}{2\sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2}} (2(x_1 - x_2)(\dot{x}_1 - \dot{x}_2) + 2(y_1 - y_2)(\dot{y}_1 - \dot{y}_2))$$

- скорость удлинения каната;

β - коэффициент рассеивания энергии;

$T_{2,3} = k_{2,3}\Delta l_{2,3} + \beta\Delta \dot{l}_{2,3}$ - сила натяжения строп;

$k_{2,3} = \frac{E \cdot S_{2,3}}{l_{2,3}}$ - коэффициент жесткости строп;

$S_{2,3} = \frac{\pi \cdot d_{2,3}^2}{4} \cdot c$ - площадь сечения строп;

d_2, d_3 - диаметры строп;

$\Delta l_{2,3} = l_{2,3} - l_{20,30}$ - удлинение строп;

$l_{2,3} = \sqrt{(x_{2,3} - x_{A,B})^2 + (y_{2,3} - y_{A,B})^2}$ - длина строп во время движения;

l_{20}, l_{30} - длина строп в положении равновесия;

$$\Delta \dot{l}_{2,3} = \frac{(2(x_{2,3} - x_{A,B})(\dot{x}_{2,3} - \dot{x}_{A,B}) + 2(y_{2,3} - y_{A,B})(\dot{y}_{2,3} - \dot{y}_{A,B}))}{2\sqrt{(x_{2,3} - x_{A,B})^2 + (y_{2,3} - y_{A,B})^2}} -$$

скорость удлинения строп;

$G_1 = m_1 g$ - сила тяжести тележки;

m_1 - масса тележки;

g - ускорение свободного падения;

$G_2 = m_2 g$ - сила тяжести крюка;

m_2 - масса крюка;

$G_3 = m_3 g$ - сила тяжести груза;

m_3 - масса груза;

$\theta = \arctan\left(\frac{x_0 - x_4}{x_2 - x_6}\right)$ - угол отклонения каната от начального положения;

$\alpha_A = \arcsin\left(\frac{(x_2 - x_A)(y_B - y_A) - (x_A - x_B)(y_2 - y_A)}{bl_2}\right)$ - угол между грузом и стропой 2;

жду грузом и стропой 2;

$\alpha_B = \arcsin\left(\frac{(x_2 - x_B)(y_A - y_B) - (x_B - x_A)(y_2 - y_B)}{bl_3}\right)$ - угол между грузом и стропой 3;

ду грузом и стропой 3;

$a = \sqrt{h^2 + \left(\frac{b}{2}\right)^2}$ - расстояние между центром тяжести груза и местом закрепления строп;

закрепления строп;

h - расстояние по вертикали между центром тяжести груза и местом закрепления строп;

b - расстояния между местами закрепления строп.

Разработанная математическая модель была реализована в виде расчетного листа Mathcad. Система дифференциальных уравнений была решена численным методом Рунге-Кутты 4-го порядка, заложенным во встроенную функцию rkfixed().

Примером работы программы являются графики колебаний груза в горизонтальной плоскости (рис. 2), колебаний груза в вертикальной плоскости (рис. 3), угла поворота груза (рис. 4) при скорости движения тележки 0,1 м/с для таких исходных данных: $m_1=500$ кг, $m_2=20$ кг, $m_3=1000$ кг, $l_{10}=15$ м, $l_{20}=l_{30}=5$ м, $d_1=0,01$ м, $d_2=d_3=0,005$ м, $E=1,0 \cdot 10^{11}$ Па [3], $\beta=0$ (демпфирование колебаний отсутствует), $c=0.76$, $h=0.5$ м, $b=5$ м, $I_3=3.5$ кгм².

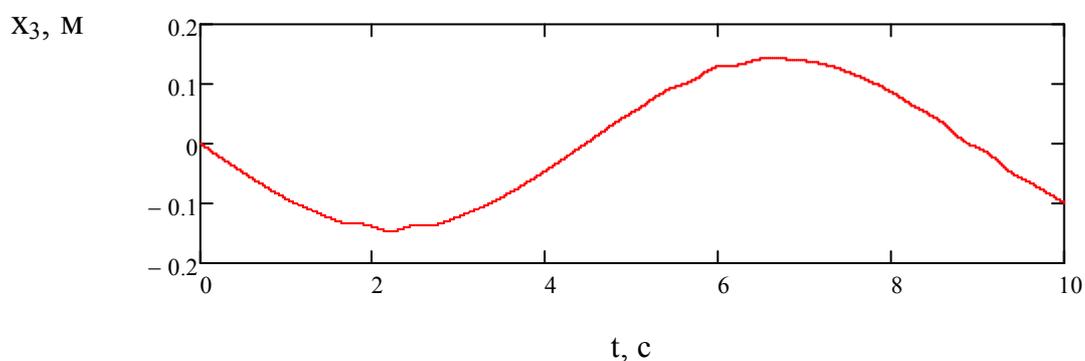


Рисунок 2 - График колебаний груза в горизонтальной плоскости

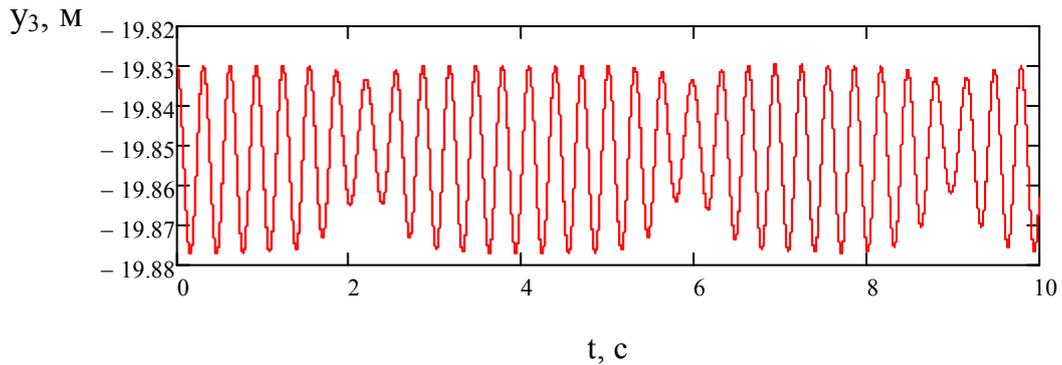


Рисунок 3 – График колебаний груза в вертикальной плоскости

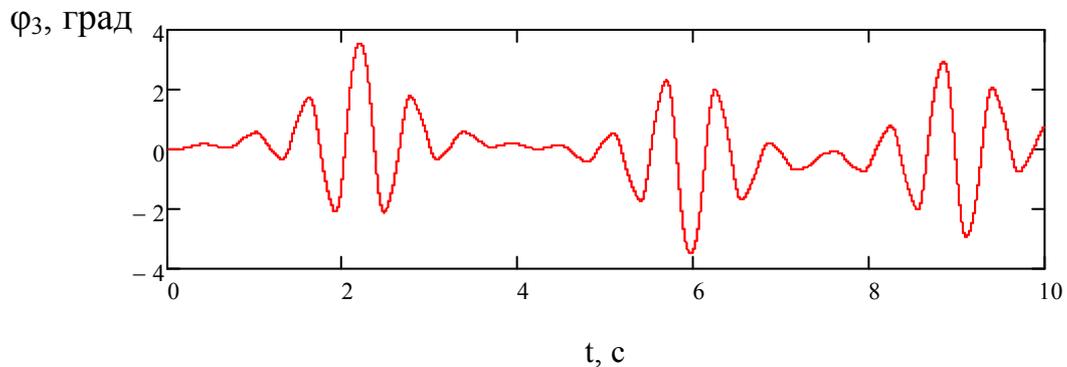


Рисунок 4 – График изменения угла поворота груза

Таким образом, разработана и реализована в системе Mathcad математическая модель движения тележки мостового крана с грузом. Разработанная программа позволяет рассчитывать законы движения груза и тележки. С использованием данной программы в дальнейшем будет осуществлен выбор оптимальных режимов движения тележки, учитывающих скорость движения и параметры груза.

Список литературы. 1. Ловейкин В. С., Ярошенко В.Ф. Оптимизация переходных режимов движения механизма передвижения тележки грузоподъемных машин // Вестник Харьковского национального технического университета сельского хозяйства. -2007-№59, том 2. – С. 452-460. **2.** Яблонский А. А. Курс теоретической механики. Часть II. Динамика. – Москва: «Высшая школа», 1984. – 567 с. **3.** Малиновский В.А. Стальные канаты. Часть 1. Некоторые вопросы технологии, расчета и проектирования. – Одесса: Астропринт, 2001. – 188 с.