## И.И. Леепа, д-р техн. наук, О.А. Бейгул, канд.техн.наук

(Украина, Днепродзержинск, Днепродзержинский государственный технический университет)

## ОСОБЕННОСТИ НАГРУЖЕНИЯ МОСТА И МЕХАНИЗМА ПОДЪЕМА КОЛОДЦЕВОГО КРАНА

**Постановка проблемы.** В колодцевых кранах динамические нагрузки, передающиеся на мосты при подъеме, опускании или торможении грузов, не являются определяющими, так как масса поднимаемого груза всегда во много раз меньше собственной массы тележки, постоянно действующей на балки моста. Наибольшее значение в этих кранах имеют нагрузки, связанные с падением или перехватом слитка. Последнее явление зависит от конструкции самозажимающихся клещей.

**Анализ исследований и публикаций.** Динамика грузоподъемных мостовых кранов исследовалась многими учеными [1–5], которые при всем многообразии подходов не учитывали специфику работы колодцевых клещевых кранов. В работах [6,7] описаны экспериментальные исследования формирования динамических нагрузок на узлы и агрегаты колодцевых кранов в условиях металлургического производства, приведен анализ эксплуатации, разработаны мероприятия по повышению надежности и долговечности конструкций.

**Нерешенная часть проблемы.** Вместе с тем проблема нуждается в разработке математической модели формирования динамических нагрузок на металлоконструкцию моста и механизм подъема, вызванных падением или перехватом слитка в клещевых захватах, на основании которой можно создавать рациональные по металлоемкости конструкции.

**Цель работы** – выявление особенностей нагружения моста и механизма подъема колодцевых кранов, связанных с падением и перехватом слитков в клещевых захватах.

**Изложение основного материала.** Оценка динамических нагрузок, действующих на металлоконструкцию моста и механизм подъема, вызванных падением или перехватом слитка, выполняется с помощью двухмассовой расчетной схемы с последующим анализом влияния некоторых параметров на величину нагрузок в упругих связях [8,9]. К таким параметрам отнесены:  $C_1$  – коэффициент поперечной жесткости балок моста;  $m_1$ —суммарная масса моста и тележки;  $C_2$  – коэффициент продольной жесткости канатов механизма подъема;  $m_2$  — суммарная масса груза и грузозахватного устройства.

Для рассматриваемой расчетной схемы запишем систему дифференциальных уравнений:

$$m_{1} \ddot{x}_{1} + C_{1}x_{1} - C_{2}(x_{2} - x_{1}) = 0,$$

$$m_{2} \ddot{x}_{2} + C_{2}(x_{2} - x_{1}) = 0.$$
(1)

Перемещения масс

$$x_{1} = a_{11}\sin(p_{1}t + \alpha_{1}) + a_{12}\sin(p_{2}t + \alpha_{2}),$$

$$x_{2} = \chi_{21}a_{11}\sin(p_{1}t + \alpha_{1}) + \chi_{22}a_{12}\sin(p_{2}t + \alpha_{2}),$$
(2)

где  $a_{11}$ ,  $a_{12}$  – амплитуды колебаний по первой и второй частотам, м;

 $p_1, p_2$  – первая и вторая собственные частоты, 1/c;

 $\chi_{21}, \chi_{22}$  – коэффициенты формы колебаний.

Для квадрата частот получаем два вещественных положительных решения

$$p_{2,1}^{2} = 0.5 \left( \frac{C_{1} + C_{2}}{m_{1}} + \frac{C_{2}}{m_{2}} \right) \pm \sqrt{\left\{ 0.5 \left[ \left( \frac{C_{1} + C_{2}}{m_{1}} + \frac{C_{2}}{m_{2}} \right) \right] \right\}^{2} - \frac{C_{1}C_{2}}{m_{1}m_{2}}}$$
(3)

или

$$p_{21}^{2} = 0.5\Delta(\alpha + \gamma + 1) \pm \sqrt{\left[0.5\Delta(\alpha + \gamma + 1)\right]^{2} - \alpha\psi},$$
(4)

где 
$$\alpha = \frac{C_1}{C_2}$$
;  $\Delta = \frac{C_2}{m_1}$ ;  $\gamma = \frac{m_1}{m_2}$ ;  $\psi = \frac{C_2^2}{m_1 m_2}$ .

Отношения амплитуд первой и второй гармоник

$$\chi_{21} = \frac{a_{21}}{a_{11}} = \frac{C_1 + C_2 - m_1 p_1^2}{C_2} = \alpha + 1 - \frac{p_1^2}{\Delta}; \tag{5}$$

$$\chi_{22} = \frac{a_{22}}{a_{21}} = \frac{C_1 + C_2 - m_1 p_2^2}{C_2} = \alpha + 1 - \frac{p_2^2}{\Delta}.$$
 (6)

Воспользуемся следующими начальными условиями: при t=0  $x_1(0)=0$ ,  $x_2(0)=0$ ,  $\dot{x}_1(0)=0$ ,  $\dot{x}_2(0)=v_0$ , т. е. движение вызвано выскальзыванием слитка из клещей; тогда  $\alpha_1=\alpha_2=0$  и амплитуды колебаний принимают вид:

$$a_{11} = \frac{v_0}{p_1(\chi_{21} - \chi_{22})} = \frac{v_0 \Delta}{p_1(p_2^2 - p_1^2)},\tag{7}$$

$$a_{12} = -\frac{v_0}{p_2(\chi_{21} - \chi_{22})} = -\frac{v_0 \Delta}{p_2(p_2^2 - p_1^2)}.$$
 (8)

Перемещения масс можно записать как

$$x_1 = \frac{v_0 \Delta}{p_1 (p_2^2 - p_1^2)} \sin p_1 t - \frac{v_0 \Delta}{p_2 (p_2^2 - p_1^2)} \sin p_2 t, \tag{9}$$

$$x_{2} = \frac{\left(\alpha + 1 - p_{1}^{2}/\Delta\right)v_{0}\Delta}{p_{1}(p_{2}^{2} - p_{1}^{2})}\sin p_{1}t - \frac{\left(\alpha + 1 - p_{2}^{2}/\Delta\right)v_{0}\Delta}{p_{2}(p_{2}^{2} - p_{1}^{2})}\sin p_{2}t.$$
(10)

Максимальные усилия в связях:

$$F_1 = C_1 x_1 = \frac{C_1 v_0 \Delta}{p_1 p_2 (p_2 - p_1)},\tag{11}$$

$$F_{2} = C_{2}(x_{2} - x_{1}) = \frac{C_{2}v_{0}}{p_{2} - p_{1}} \left[ \Delta \left( \frac{\alpha + 1}{p_{1}p_{2}} \right) - 1 \right].$$
 (12)

Анализируя выражения (4), (11) и (12), видим, что собственные частоты  $p_1$ ,  $p_2$  и усилия  $F_1$ ,  $F_2$  зависят от соотношений коэффициентов жесткости  $\alpha = C_1/C_2$  и масс  $\gamma = m_1/m_2$ . На рис. 1 представлены зависимости усилий  $F_1$  и  $F_2$  от отношения жесткостей  $\alpha$ , а на рис. 2 – зависимость тех же величин от отношения масс  $\gamma$  для клещевого крана грузоподъемностью 10/10 т. Из первого графика видно, что минимальное усилие, действующее на канаты механизма подъема и мост крана, имеет место при  $\alpha = 4,5$ , когда  $F_1/Q = 3,8$ , а  $F_2/Q = 2,12$ . Снижение величины  $\alpha$  приводит к уменьшению динамической нагрузки на мост и увеличению последней на канаты. При  $\alpha > 4,5$  наблюдается увеличение нагрузки на мост и канаты, а увеличение отношения масс  $\gamma$  приводит к снижению нагрузки на мост и к росту нагрузки на канаты (рис. 2).

Выводы. Разработан математический аппарат для оценки динамических нагрузок, действующих на металлоконструкцию моста и механизм подъема, вызванных падением или перехватом слитка, с помощью которого выполнен анализ влияния конструктивных параметров на величину максимальных амплитуд колебаний. Показано, что существует оптимальное соотношение между жесткостями И массами моста И механизма подъема, динамические нагрузки оказываются минимальными, при отклонении от этого значения происходит перераспределение динамических нагрузок между механизмом подъема и металлоконструкцией моста, приводящее к перегрузке канатов и разгрузке моста или наоборот. Для управления соотношением между подъема моста механизмами c целью динамических нагрузок следует ввести в силовую цепь штанги и полиспастного блока упругую связь с регулируемым коэффициентом жесткости.

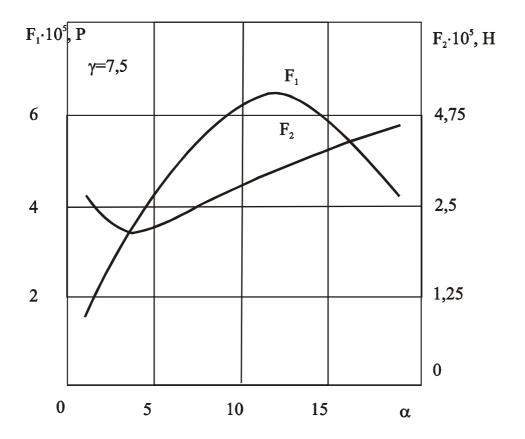


Рис. 1. Зависимости усилий  $F_1$  и  $F_2$  от отношения жесткостей  $\alpha$ 

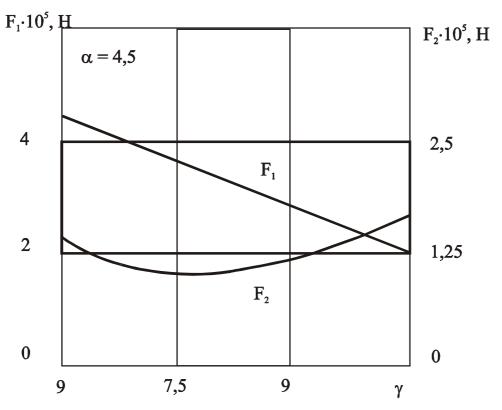


Рис. 2. Зависимости усилий  $F_1$  и  $F_2$  от отношения масс  $\gamma$ 

## Список литературы

- 1. Будиков Л.Я. Многопараметрический анализ динамики грузоподъемных кранов мостового типа. Луганск: Изд-во ВУГУ, 1997. 210 с.
- 2. Казак С.А. Динамика мостовых кранов. М.: Машиностроение, 1968. 332с.
- 3. Лобов Н.А. Динамика грузоподъемных кранов. М.: Машиностроение, 1987. 160 с.
- 4. Аветисян С.М., Неженцев А.Б. Определение динамических нагрузок мостового крана при торможении поднимаемого груза // Підйомно-транспортна техніка. Дніпропетровськ, 2003. Вип. 2 (6).— С. 44–49.
- 5. Шевченко А.Ф., Колесник Н.П. Исследование системы "кран-виброгруз" с переменной массой груза на крюке // Підйомно-транспортна техніка. Дніпропетровськ, 2003. Вип. 2 (6). С. 19–28.
- 6. Леепа И.И. Экспериментальное исследование динамических нагрузок в приводной линии подъема грузоподъемностью 32/50 тонн // Системні технології. Регіон. міжвуз. зб. наук. праць. Дніпропетровськ, 2001. Вип. 6 (17). С. 82–89.
- 7. Леепа И.И. Экспериментальное исследование динамических нагрузок на мост и механизм подъема колодцевого крана и разработка мероприятий по повышению его надежности // Системні технології. Регіон. міжвуз. зб. наук. праць. Дніпропетровськ, 2002. Вип. 1 (18). С. 38–46.
- 8. Кожевников С.Н. Динамика машин с упругими звеньями. К.: АН УССР, 1961. 160 с.
- 9. Пановко Я.Г. Основы прикладной теории упругих колебаний. М.: Машиностроение, 1967. 315 с.