

О.О. Бейгул, Г.Л. Лепетова, А.Ю. Неділько

## СИСТЕМНІ ТЕХНОЛОГІЇ ФОРМУВАННЯ НАВАНТАЖЕНЬ НА НЕСУЧУ МЕТАЛОКОНСТРУКЦІЮ КЛІЩОВОГО КОЛОДЯЗНОГО КРАНА

*Аннотация. Разработана математическая модель формирования нагрузок на агрегаты клещевого колодецевого крана, проанализировано влияние конструктивных параметров на максимальные амплитуды колебаний.*

**Постановка проблеми.** Кліщові колодязні крани призначені для обслуговування нагрівальних печей колодязного типу, насамперед посадки зливків для їх нагрівання та видачі на зливковіз з метою транспортування до приймального рольганга обтискного стана. Крім того, колодязні крани виконують різні допоміжні операції, наприклад, очищення подин колодязів від шлаку за допомогою спеціальної лопати, відривання кліщами зливка, привареного до виливниці, піднімання зливка, який упав на подину печі.

Як це слідує з наведеного переліку, у колодязних кранах динамічні навантаження, які передаються на несучу металоконструкцію при підніманні, спусканні чи гальмуванні вантажів, не можуть бути розрахунковими, оскільки маса вантажа істотно менша власної маси візка. Найбільші значення у цих кранах мають навантаження, які пов'язані з падінням або перехватом зливків.

**Аналіз досліджень і публікацій.** Динаміка підйомно-транспортних машин, у тому числі мостових кранів досліджувалась багатьма вченими [1–5], але вони не могли враховувати цілий ряд обставин, притаманних саме кліщовим колодязним кранам. У роботах [6, 7] описані експериментальні дослідження формування динамічних навантажень на несучу металоконструкцію колодязних кранів в умовах металургійного виробництва, наведений аналіз специфічних умов формування навантажень на вузли та агрегати таких кранів, розроблені заходи по підвищенню надійності та довговічності конструкцій.

**Невирішена частина загальної проблеми.** Вище окреслена проблема потребує розробки математичної моделі формування динаміч-

них навантажень на несучу металоконструкцію кліщового колодязного крана, викликаних падінням чи перехватом зливка у кліщовому захваті, на базі якої можна розробляти раціональні за металомісткістю конструкції, надійні та довговічні.

**Мета роботи,** таким чином, полягає у виявленні особливостей навантаження та розробці відповідної математичної моделі формування технологічних навантажень на силові елементи несучої системи кліщового колодязного крана при характерних режимах експлуатації, пов'язаних з падінням та перехватом зливків у кліщових захватах.

**Виклад основного матеріалу.** Розрахунок динамічних навантажень, які викликані падінням чи перехватом зливка і діють на несучу металоконструкцію кліщового колодязного крана, виконується за допомогою двомасової розрахункової схеми [8].

Записуємо відповідну систему диференціальних рівнянь:

$$\left. \begin{aligned} m_1 \ddot{x}_1 &= -c_1 x_1 - c_2 (x_1 - x_2); \\ m_2 \ddot{x}_2 &= -c_2 (x_2 - x_1), \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

де  $m_1$  – сумарна маса несучої металоконструкції та візка, кг;  $m_2$  – сумарна маса вантажу та вантажозахватного пристроя, кг;  $c_1$  – коефіцієнт поперечної жорсткості несучої металоконструкції крана, Н/м;  $c_2$  – коефіцієнт поздовжньої жорсткості канатів механізму піднімання, Н/м.

Розв'язання системи рівнянь (1) має наступний вигляд:

$$\left. \begin{aligned} x_1 &= a_{11} \sin(p_1 t + \varphi_1) + a_{12} \sin(p_2 t + \varphi_2); \\ x_2 &= a_{11} \chi_{21} \sin(p_1 t + \varphi_1) + a_{12} \chi_{22} \sin(p_2 t + \varphi_2), \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

де  $a_{11}, a_{12}$  – амплітуди коливань по першій узагальненій координаті, викликаних коливаннями по першій та другій узагальнених координатах, відповідно, м;

$p_1, p_2$  – перша та друга власні кругові частоти коливань, 1/с;

$\varphi_1, \varphi_2$  – фазові кути коливань по першій та другій узагальнених координатах;

$\chi_{21}, \chi_{22}$  – коефіцієнти форми коливань.

Розв'язуючи відповідне частотне рівняння, отримуємо наступний вираз для квадратів власних кругових частот:

$$P_{2,1}^2 = 0,5 \left( \frac{c_1 + c_2}{m_1} + \frac{c_2}{m_2} \right) \pm \sqrt{\left[ 0,5 \left( \frac{c_1 + c_2}{m_1} + \frac{c_2}{m_2} \right) \right]^2 - \frac{c_1 c_2}{m_1 m_2}}, \quad (3)$$

або

$$P_{2,1}^2 = 0,5\Delta(\alpha + \gamma + 1) \pm \sqrt{[0,5\Delta(\alpha + \gamma + 1)]^2 - \alpha\psi}, \quad (4)$$

$$\text{де } \Delta = \frac{c_2}{m_1}, \quad \alpha = \frac{c_1}{c_2}, \quad \gamma = \frac{m_1}{m_2}, \quad \psi = \frac{c_2^2}{m_1 m_2}.$$

Коефіцієнти форми коливань мають наступний вигляд:

$$\chi_{21} = \frac{a_{21}}{a_{11}} = \frac{c_1 + c_2 - m_1 p_1^2}{c_2} = \alpha + 1 - \frac{p_1^2}{\Delta}; \quad (5)$$

$$\chi_{22} = \frac{a_{22}}{a_{21}} = \frac{c_1 + c_2 - m_1 p_2^2}{c_2} = \alpha + 1 - \frac{p_2^2}{\Delta}. \quad (6)$$

Скористаємося наступними початковими умовами: при  $t = 0$   $x_1(0) = 0$ ,  $x_2(0) = 0$ ,  $\dot{x}_1(0) = 0$ ,  $\dot{x}_2(0) = v_0$ . У цьому випадку  $\varphi_1 = \varphi_2 = 0$ , а амплітуди коливань приймають наступний вигляд:

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

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

Тоді переміщення мас можна записати так:

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

$$x_2 = \frac{(\alpha + 1 - p_1^2/\Delta)v_0 \Delta}{p_1(p_2^2 - p_1^2)} \sin p_1 t - \frac{(\alpha + 1 - p_2^2/\Delta)v_0 \Delta}{p_2(p_2^2 - p_1^2)} \sin p_2 t. \quad (10)$$

З виразів (9) та (10) отримуємо максимальні зусилля у зв'язках:

$$F_1 = c_1 x_1 = \frac{c_1 v_0 \Delta}{p_1 p_2 (p_2 - p_1)}; \quad (11)$$

$$F_2 = c_2 (x_2 - x_1) = \frac{c_2 v_0}{p_2 - p_1} \left[ \Delta \left( \frac{\alpha + 1}{p_1 p_2} \right) - 1 \right]. \quad (12)$$

Аналізуючи вирази (4), (11) та (12), можна заключити, що власні кругові частоти  $p_1$ ,  $p_2$  та зусилля  $F_1$ ,  $F_2$  залежать від співвідношень коефіцієнтів жорсткості  $\alpha = c_1/c_2$  та мас  $\gamma = m_1/m_2$ . На рис. 1 подані залежності зусиль  $F_1$  та  $F_2$  від співвідношення жорсткостей  $\alpha$  для кліщового колодязного крана вантажопідйомністю 10/10 т.

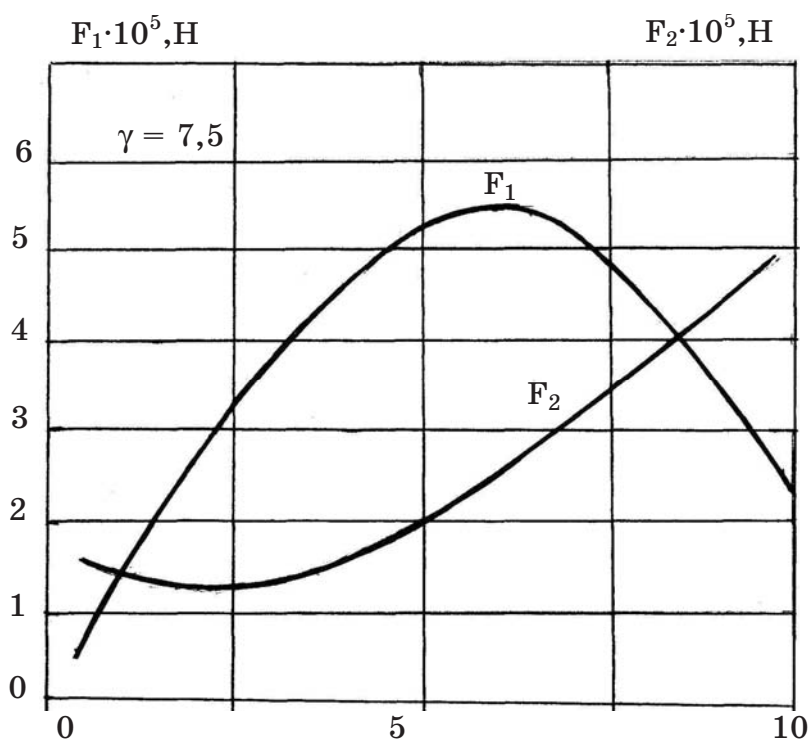


Рисунок 1 – Залежності зусиль  $F_1$  та  $F_2$  від відношення жорсткостей  $\alpha = c_1/c_2$

З рис. 1 видно, що мінімальні зусилля, які діють на несучу металоко́нструкцію крана та на канати механізму піднімання, мають місце при  $\alpha = 4,5$ . При  $\alpha < 4,5$  відбувається зменшення динамічного навантаження на несучу металоко́нструкцію та збільшення такого на канати. При  $\alpha > 4,5$  відбувається збільшення динамічних навантажень на несучу металоко́нструкцію та канати.

**Висновок.** Таким чином, розроблено математичну модель формування навантажень на несучу металоко́нструкцію кліщового колодязного крана, викликаних падінням чи перехватом зливка, за допомогою якої виконано аналіз впливу конструктивних параметрів на величину максимальних амплітуд коливань. Показано, що існує оптимальне співвідношення між коефіцієнтами жорсткості та масами несучої металоко́нструкції та механізму піднімання, коли динамічні навантаження будуть мінімальними, а при відхиленні від цього значення відбувається перерозподіл динамічних навантажень між несучою металоко́нструкцією та механізмом піднімання. Для керування співвідношенням між жорсткостями несучої металоко́нструкції та механізму піднімання з ме-

тою мінімізації динамічних навантажень слід вводити у силову лінію штанги та поліспасного блока пружний зв'язок з перемінним коефіцієнтом жорсткості, який може регулюватися.

#### ЛІТЕРАТУРА

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

Получено 25.01.2011г.