

УДК 621.874

Заяць Г.В., к.т.н.

Придніпровська державна академія будівництва та архітектури

МОДЕЛЮВАННЯ РОБОТИ ПРИВІДНОЇ БАЛКИ ВАНТАЖОПІДЙОМНОГО КРАНУ МОСТОВОГО ТИПУ ПРИ ПІДЙОМІ ВІБРОВАНТАЖІВ

Анотація. Розроблено модель для імітації динамічних явищ при роботі вантажопідйомного крану мостового типу при підйомі вібровантажів. Доведено, що однією з основних причин руйнування стінок приводних балок мостових кранів з центрально розташованим приводом при підйомі вібровантажів є резонанс між вимушеними коливаннями від вібровантажу і власними коливаннями приводу механізму пересування крану.

Ключові слова: моделювання, приводна балка, кран мостового типу, привод механізму пересування, пружна система, жорсткість, вібровантаж, коливання, амплітуда, резонанс

Аннотация. Разработана модель для имитации динамических явлений при работе грузоподъемного крана мостового типа при подъеме виброгрузов. Доказано, что одной из основных причин разрушения стенок приводных балок мостовых кранов с центральным расположением привода механизма передвижения является резонанс между вынужденными от груза и собственными колебаниями привода механизма передвижения крана.

Ключевые слова: моделирование, приводная балка, кран мостового типа, привод механизма передвижения, упругая система, жёсткость, виброгруз, колебания, амплитуда, резонанс

Annotation. The model is developed to the simulate of the dynamic during work of loading crane of bridge type at lifting of vibroloads. It is proven that to one of principal reasons of destruction of walls of drive beams of travelling cranes with the central location of mechanism of movement there is resonance between forced from a load and by eigentones of mechanism of movement of the crane.

Key words: modelling, drive beam, the crane of bridge type, drive of mechanism of movement, resilient system, inflexibility, vibroload, vibrations, amplitude, resonance

Постановка задачі. На основі результатів багаторічних обстежень вантажопідйомних кранів [1, 2, 3] різного типу виявлений і систематизований специфічний ряд характерних пошкоджень несущих металлоконструкцій.

Для мостових кранів з центральним розташуванням приводу механізму пересування, які використовуються в технології виготовлення залізобетонних конструкцій, одним з поширених пошкоджень є наявність тріщин (поз.1) від втоми в металі стінки мостової балки і зварних швах кріплення площадки механізму пересування крану, рис.1.

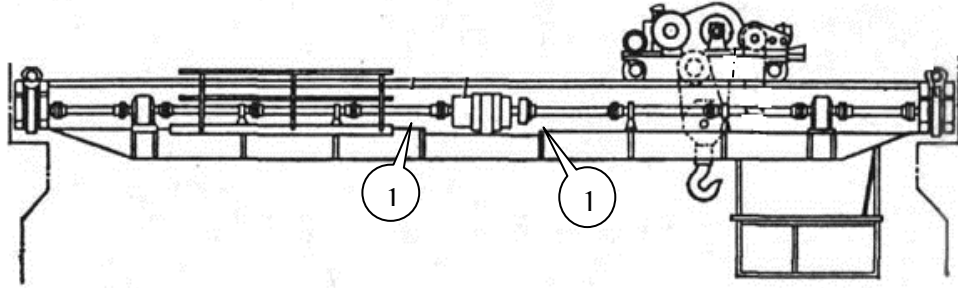


Рисунок 1 – Схема розташування тріщин в металі і зварних швах

Мета роботи. дослідити вплив динамічних явищ на виникнення пошкоджень і розробити заходи усунення можливості їх виникнення.

Виклад основного матеріалу. Реальна пружна система, що складається з мостової балки, на площадці обслуговування якої встановлений центральний приводом механізму пересування, зводиться до моделі, представленої на рис.2.

Приведені в пружній моделі параметри отримані з наступних співвідношень, [4]:

$$C_{м.б.} = 3 \cdot \frac{(E \cdot I)_{м.б.} \cdot L_{к.}}{a^2 \cdot (L_{к.} - a)^2};$$

$$C_{п.м.п.} = 3 \cdot \frac{(E \cdot I)_{п.м.п.}}{\ell^3}; \quad (1)$$

$$C_{в.к.} = \frac{E_{к.} \cdot F_{к.}}{H_{\max} - H_{в.в.}};$$

$$M_{м.б.} = m_{м.б.} \cdot \frac{L_{к.}^5}{a^2 \cdot (L_{к.} - a)^2}; \quad (1')$$

$$M_{\Sigma.м.п.} = M_{м.п.} + \frac{1}{3}(m_{т.в.} \cdot L_{к.}),$$

де (EI) – жорсткість приводної мостової балки на вигин;

$L_{к.}$ – прогон крана;

ℓ – відстань від центру ваги приводу механізму пересування до місця кріплення площадки механізму до стінки мостової приводної балки;

$E_{к.}$ – модуль пружності канату;

F_k – площа поперечного перерізу канату;
 H_{max} – максимальна висота підйому крюкової підвіски;
 $H_{в.в.}$ – відстань від підлоги до центру крюка з вібровантажем;
 $m_{м.б.}$ – лінійна щільність мотової приводної балки;
 $M_{м.п.}$ – маса механізму пересування крану;
 $m_{т.в.}$ – лінійна щільність трансмісійного валу механізму пересування крану.

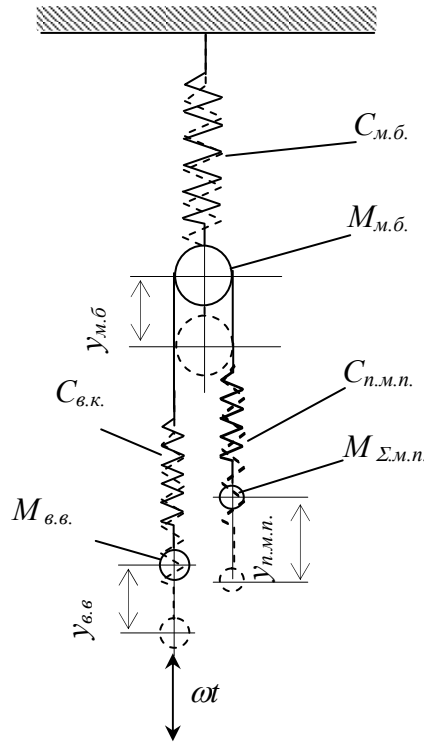


Рисунок 2 – Пружна модель системи: $C_{м.б.}$ – приведена жорсткість приводної балки; $C_{п.м.п.}$ – приведена жорсткість консольно закріпленої площадки механізму пересування крана; $C_{в.к.}$ – приведена жорсткість двократного поліспасти; $M_{м.б.}$ – приведена маса приводної мостової балки; $M_{\Sigma м.п.}$ – приведена сумарна маса пересування і трансмісійного валу і привода механізму

Рух системи, наведеної на рис. 2, аналітично може бути представлений:

$$\begin{cases} C_{м.б.} \cdot y_{м.б.} - C_{к.} \cdot (y_{в.в.} - y_{м.б.}) - C_{п.м.п.} \cdot (y_{п.м.п.} - y_{м.б.}) + M_{м.б.} \cdot \ddot{y}_{в.в.} = 0 \\ C_{к.} \cdot (y_{в.в.} - y_{м.б.}) + M_{в.в.} \cdot \ddot{y}_{в.в.} = P_{з.с.в.} \cdot \sin \alpha t \\ C_{п.м.п.} \cdot (y_{п.м.п.} - y_{м.б.}) + M_{п.м.п.} \cdot \ddot{y}_{п.м.п.} = 0. \end{cases} \quad (2)$$

де $P_{з.с.в.}$ – збурююча сила вібратора;

ω – кутова швидкість валу вібратора;

$M_{в.в.}$ – маса вібровантажу.

Позначимо невідомі значення амплітуд коливань:

- мостової балки – $A_{м.б.}$;
- вібровантажу – $A_{в.в.}$;
- площадки механізму пересування крану – $A_{п.м.п.}$.

При вимушених коливаннях і відомій кутовій швидкості обертання валу вібратора, розв'язання системи набуде наступного виду:

$$\begin{aligned} y_{м.б.} &= A_{м.б.} \sin \omega t; \\ y_{в.в.} &= A_{в.в.} \sin \omega t; \\ y_{п.м.п.} &= A_{п.м.п.} \sin \omega t. \end{aligned} \quad (3)$$

Жорсткості, за яких виникає резонанс між власними і вимушеними частотами, відповідно приводної мостової балки, металоконструкції площадки механізму пересування крану і канату механізму підйому вібровантажу, можуть бути обчислені:

$$\begin{cases} C_{м.б.}^p = M_{м.б.} \cdot \omega^2 - C_{\kappa} \cdot \left(1 - \frac{C_{\kappa}}{C_{\kappa} - M_{в.в.} \cdot \omega^2} \right) - C_{п.м.п.} \cdot \left(1 - \frac{C_{п.м.п.}}{C_{п.м.п.} - M_{п.м.п.} \cdot \omega^2} \right); \\ C_{п.м.п.}^p = M_{п.м.п.} \cdot \omega^2, \\ C_{\kappa}^p = M_{в.в.} \cdot \omega^2 \end{cases} \quad (4)$$

Аналіз отриманих залежностей надає можливість зробити наступний попередній висновок.

При проектуванні вантажопідйомних кранів мостового типу, які використовуються для підйому вібровантажів, таких як віброємкості для заливання бетону у форми, слід запобігати наступних умов:

$$H - H_{підйому} = \frac{2 \cdot E_{\kappa} \cdot F_{\kappa}}{M_{в.в.} \cdot \omega^2}; \quad (5.1)$$

$$(E \cdot I)_{п.м.п.} = \frac{1}{3} (M_{п.м.п.} \cdot \ell^2 \cdot \omega^2); \quad (5.2)$$

$$E \cdot I = \frac{a^2 \cdot (L-a)^2}{3L} \cdot \left[M_{м.б.} \cdot \omega^2 - C_{\kappa} \cdot \left(1 - \frac{C_{\kappa}}{C_{\kappa} - 2 \cdot M_{в.в.} \cdot \omega^2} \right) - C_{п.м.п.} \cdot \left(1 - \frac{C_{п.м.п.}}{C_{п.м.п.} - M_{п.м.п.} \cdot \omega^2} \right) \right]. \quad (5.3)$$

Амплітуда коливань металокопструкції площадки механізму пересування крану

$$A_{n.m.n} = \frac{P \cdot C_{\kappa}}{2 \cdot C_1 \cdot \kappa (C_{m.б.} - C_2 + 0,5 \cdot C_{\kappa} + C_{m.n.} - M_{m.б.} \cdot \omega^2 - C_3)}, \quad (6)$$

де $C_1 = 0,5 \cdot C_{\kappa} - M_{m.б.} \cdot \omega^2$; $\kappa = 1 - \frac{M_{m.б.} \cdot \omega^2}{C_{m.б.}}$; $C_2 = \frac{C_{\kappa}^2}{4 \cdot (0,5 \cdot C_{\kappa} - M_{m.б.} \cdot \omega^2)}$.

Амплітуда моменту в місці кріплення металокопструкції площадки механізму пересування крану до стінки мостової приводної балки розраховується залежністю

$$M = A_{n.m.n} \cdot \frac{3 \cdot (EI)_{m.n.}}{\rho^2}. \quad (7)$$

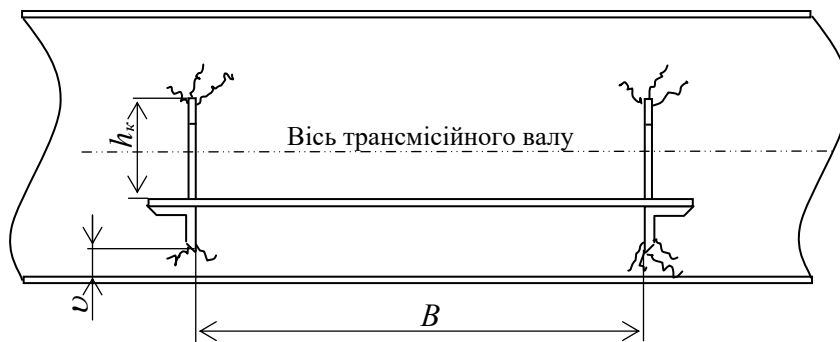


Рисунок 3 – Деталізація пошкоджень поз.1, (рис.1) стінки мостової балки (привод механізму пересування крану умовно не наведений): v – відстань від нижнього поясу до місця кріплення поперечного опорного куточка площадки механізму пересування; h_k – висота підсилюючої косинки; B – відстань між опорними куточками

Для практичних розрахунків амплітуда напружень в стінці приводної мостової балки з достатньою точністю може бути визначена з системи (2), [3]

$$\sigma_a = k_1 \cdot \phi \cdot \frac{E \cdot \delta}{a}, \quad (8)$$

де k_1 – коефіцієнт залежності співвідношення висоти місця кріплення металокопструкції площадки механізму привода пересування до відстані v , (рис.3);

δ – значення товщини металу стінки мостової балки;

ϕ – кут повороту серединної площини стінки балки,

$$\phi = \frac{M}{N \cdot E \cdot \delta^3 \cdot k_2}, \quad (9)$$

де k_2 – коефіцієнт залежності співвідношення висоти місця кріплення металокопункції площадки механізму привода пересування до відстані u ;

N – кількість місць кріплення поперечних кутків до стінки балки.

В якості прикладу виконаємо розрахунки для мостового крану з наступними параметрами: вантажопідйомність $Q=10$ тон, прогон $L=16,5$ м, $d_k=18$ мм, $E_k=15,5 \cdot 10^3$ МПа, $(EI)_{\text{мп}}=2,5$ МПа, $a=5,0$ м, $EI=330$ МПа, $l=0,8$ м, $M_{\text{в.в.}}^{\text{min}}=1,0$ т, $M_{\text{в.в.}}^{\text{max}}=7,0$ т, $\omega=90$ с⁻¹; $m_0=125$ кг/м; $M_{\text{м.б.}}=450$ кг.

Доцільно розрахувати резонансні жорсткості при роботі крану з мінімальним і максимальним вібровантажем, оскільки проміжні його значення короткочасні і не мають суттєвий вплив на виникнення пошкоджень.

Розрахункові резонансні значення жорсткостей, за формулами (4) складуть:

$$\begin{aligned} C_{\text{м.б.}}^{p.\text{max}} &= 42 \cdot 10^7 \text{ н / м}; & C_{\text{м.б.}}^{p.\text{min}} &= 46 \cdot 10^7 \text{ н / м}; \\ C_{\text{п.м.п.}}^p &= 4,2 \cdot 10^6 \text{ н / м}; \\ C_{\text{к.р.}}^{p.\text{max}} &= 1,265 \cdot 10^8 \text{ н / м}; & C_{\text{к.р.}}^{p.\text{min}} &= 1,83 \cdot 10^6 \text{ н / м}; \end{aligned}$$

Дійсні значення жорсткостей при $H_{\text{нідійому}}=3,0 \pm 0,1$ м:

$$C_{\text{м.б.}}^{\text{д.}} = 4,8 \cdot 10^6 \text{ н / м}; \quad C_{\text{п.м.п.}}^{\text{д.}} = 1,5 \cdot 10^7 \text{ н / м}; \quad C_{\text{к.р.}}^{\text{д.}} = 1,9 \cdot 10^6 \text{ н / м}.$$

Зіставляючи розрахункові і дійсні значення жорсткостей можна укласти, що вони істотно відрізняються. Виняток становить жорсткість канату вантажного поліспаца $C_{\text{к.р.}}^{p.\text{max}}$ і $C_{\text{к.р.}}^{p.\text{min}}$. До того ж, згідно формули (5.1) розрахункове значення $H-H_{\text{нідійому}}=3,37$ м, а дійсне значення $H-H_{\text{нідійому}}=3,29$ м.

Амплітуда коливань металокопункції площадки механізму пересування крану для даного прикладу, згідно формули (6):

при $M_{\text{в.в.}}^{\text{min}}=1,0$ т складає $A_{\text{п.м.п.}}=0,35$ мм;

при $M_{\text{в.в.}}^{\text{max}}=7,0$ т складає $A_{\text{п.м.п.}}=0,009$ мм.

Амплітуда моменту M , згідно (7), в місті кріплення площадки приводу механізму пересування крана для $A_{\text{п.м.п.}}=0,03$ мм, складе 3,6 кНм.

Амплітуда напружень в стінці приводної мостової балки при $k_1=k_2=7$, $\varphi \approx 1,57 \cdot 10^{-4}$ [7], згідно (7) складе $\sigma=35,4$ МПа.

Необхідно довести наступне. При встановленні двох окремих рознесених приводів механізму пересування вказані вище дефекти в місцях кріплення металокопункції зустрічаються вкрай рідко і мають інші причини виникнення.

ВИСНОВКИ

1. Одною з основних причин руйнування стінок приводних балок мостових кранів з центрально розташованим приводом при підйомі вібровантажів є резонанс між вимушеними коливаннями від вібровантажу і власними коливаннями механізму пересування крану.

2. Підбор вібраторів за частотою, раціональний підбор жорсткості металоконструкції площадки приводу механізму пересування і особливостей її кріплення до стінки мостової балки, зменшення загальної маси механізму пересування крану дозволяє обмежити дію резонансних явищ.

3. При проектуванні мостових кранів, що використовуються для підйому вірвантажів, доцільно проводити їх перевірку на резонанс.

ЛІТЕРАТУРА

1. НПАОП 00.00–1–01–07. Правила будови і безпечної експлуатації вантажопідіймальних кранів.–Київ: “Основа”,2007.–263 с.

2. ОМД 00120253.001–2005 Методика проведення експертного обстеження (технічного діагностування) кранів мостового типу.–Харків,2005.–158 с.

3. Заяц Г.В. Методические указания по техническому обследованию грузоподъемных кранов с истекшим сроком службы для определения возможности их дальнейшей эксплуатации./ А.М. Варшавский, Г.В. Заяц // Днепропетровский инженерно-строительный институт, (Согласованы ГГТН Украины, письмо № 11-11/137 от 05.02.1990 г.).–1989.–104 с.

4. Вайнберг Д.В. Справочник по прочности, устойчивости и колебаниям пластин.–К.: Будівельник, 1973.–488 с.

5. Биргер И.А. Прочность, устойчивость, колебания. Т.3.–М.:Машиностроение, 1968.–568 с.

6. Тимошенко С.П. Прочность и колебания элементов конструкций.–М.: Наука, 1975.–704 с.

7. Тимошенко С.П. Колебания в инженерном деле.–Томск: ТомКнига, 2006.–440 с.