

УДК 621.874

**ВИЗНАЧЕННЯ ДИНАМІЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ
ПРИ ПЕРЕСУВАННІ ВАНТАЖНОГО ВІЗКА МОСТОВОГО КРАНА**

©Слепужніков Є. Д.

Національний університет цивільного захисту України

Інформація про автора:

Слепужніков Євген Дмитрович: ORCID 0000-0002-5449-3512; ors2011@bk.ru; начальник курсу факультету оперативно-рятувальних сил; Національний університет цивільного захисту України; вул. Чернишевська, 94, м. Харків, 61023, Україна.

В статті вирішено актуальну науково-технічну проблему підвищення робото здатності ходового колеса мостового крана. Запропонована вдосконалена конструкція ходового колеса з пружним кільцем приводить до зменшення напружень в колесі і динамічних навантажень.

Крім цього, в статті розглянуті динамічні навантаження, які виникають при пересуванні вантажних візків кранів мостового типу, що дає змогу визначити зусилля в пружних зв'язках, частоту коливань і амплітуду, що суттєво допоможе зробити розрахунки при проектуванні кранів більш точними.

Ключові слова: кран; візок вантажний; навантаження; динаміка; коливання; зусилля.

Слепужніков Е. Д. «Определение динамических нагрузок при передвижении грузовой тележки мостового крана».

В статье решено актуальную научно-техническую проблему повышения работоспособности ходового колеса мостового крана. Предложена усовершенствованная конструкция ходового колеса с упругим кольцом, что приводит к уменьшению напряжений в колесе и динамических нагрузок.

Кроме этого, в статье рассмотрены динамические нагрузки, которые возникают при передвижении грузовых тележек кранов мостового типа. Получено решение, позволяющее определить усилия в упругих связях, частоту колебаний и амплитуду, что существенно поможет сделать расчеты при проектировании крана более точными.

Ключевые слова: кран; тележка грузовая; колесо ходовое; нагрузка; динамика; колебания; усилия.

Stepugnikov E. “Dynamic loadings at movement cargo cart of bridge crane”.

In this article it is considered dynamic loadings arise in the time of movement cargo carts of cranes bridge type. Receive decision this allow to define efforts in elastic bonds, frequency of oscillations and amplitude, what essentially help to do calculate of crane more exactly. In this article the actual scientific and technical problem of higher work of mechanism of movement bridge crane for account use wheels with elastic inputs. Offer improvement design use wheels with elastic inputs and it bring to decrease strains in wheel and dynamic loadings.

In dissertation consider strain state of wheel with elastic inputs as three layer cylinder design with account energy displacement of insert. Receipt decision allow to value strain this design and take definite recommendations for its use. In dissertation consider dynamic loadings rise at movement cargo cart of bridge crane, this let us possible to define efforts in elastic bonds, often of vibration, and amplitude, what is help make calculations project of crane exact.

Keywords: crane; cargo carts; wheel walk; loading; dynamic; oscillations; efforts.

1. Вступ

Динамічні навантаження, які виникають при пересуванні вантажних візків і мостових кранів мають досить великі значення і не враховувати їх під час проектування мостових кранів неможливо. Особливо вони проявляються під час зносу елементів кочення коліс і рейок та виникнення перекосів на довго працюючих кранах.

2. Постановка проблеми

Питаннями динаміки пересування вантажних візків і мостових кранів займалися такі видатні вчені, як Б. С. Ковальський [1], С. А. Казак [2], Н. Ф. Лобов [3] В. Ф. Гайдамака [4], В. Г. Піскунов [5].

Привод механізму пересування вантажного візка розташований, як правило, посередині колії візка. Рух на ведучі колеса передається за допомогою трансмісійного валу.

3. Викладення основного матеріалу

Для зменшення динамічних навантажень, які виникають при пересуванні вантажних візків мостових кранів нами була запропонована нова конструкція ходового колеса з гумовими кільцями [6]. При детальному дослідженні динаміки механізму пересування можливо використовувати розрахункову схему з трьома масами і двома пружними зв'язками. Можна привести всі параметри до ходової частини візка і вантажу, тоді ми отримаємо схему поступового руху (рис. 1), де m_1 – маса частин, які обертаються (маса ротора двигуна і інших частин, в основному моторної муфти і гальмівного шківів), m_2 – приведена маса частин, які поступово рухаються, m_3 – маса вантажу, C_1 – коефіцієнт жорсткості тихохідного трансмісійного валу, C_2 – жорсткість другого пружного зв'язку.

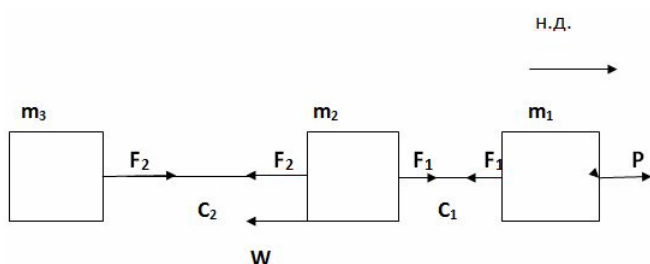


Рис. 1 – Розрахункова схема, де m_1 – маса частин, які крутяться (маса мотора двигуна та інших частин, в основному моторної муфти і тормозного шківів), m_2 – приведена маса частин, які поступально рухаються; m_3 – маса вантажу; C_1 – коефіцієнт жорсткості тихохідного трансмісійного валу; C_2 – жорсткість іншого пружного зв'язку

Після підстановки отримаємо

$$\begin{cases} m_1 \ddot{x}_1 = P - W - C_1(x_1 - x_2) \\ m_2 \ddot{x}_2 = C_1(x_1 - x_2) - C_2(x_2 - x_3); \\ m_3 \ddot{x}_3 = C_2(x_2 - x_3) \end{cases} \quad (2)$$

При незначних коливаннях вантажу коефіцієнт жорсткості другого пружного зв'язку C_2 визначається за формулою

$$C_2 = \frac{Q}{l},$$

де Q – вага вантажу;

l – довжина підвісу.

Рівняння руху запишемо у вигляді

$$\begin{aligned} m_1 \ddot{x}_1 &= P - F_1 \\ m_2 \ddot{x}_2 &= F_1 - F_2 - W, \\ m_3 \ddot{x}_3 &= F_2 \end{aligned} \quad (1)$$

де зусилля в пружних зв'язках

$$F_1 = W + C_1(x_1 - x_2);$$

$$F_2 = C_2(x_2 - x_1).$$

Піднімально-транспортні машини

Після вирішення системи (2) отримаємо диференційне рівняння

$$\ddot{x}_1 + a_1 \dot{x}_1 + a_2 x_1 = a_3, \quad (3)$$

де

$$a_1 = \frac{m_1}{2} \left(\frac{C_1}{m_1} + \frac{C_1 + C_2}{m_2} \right) + \frac{m_1(C_1 + C_2)}{2m_2};$$

$$a_2 = \frac{C_1}{2} \left(\frac{2C_1}{m_1} + \frac{2C_2 + C_1}{m_2} \right);$$

$$a_3 = \frac{P - W}{2} \left(\frac{C_1 + C_2}{m_2} - \frac{C_1}{m_1} \right)$$

Рішенням рівняння (3) будемо шукати у вигляді

$$x_1 = A_1 \cos k_1 t + A_2 \cos k_2 t + A_3 \sin k_3 t + A_4 \sin k_4 t + x_{\text{hast}}, \quad (4)$$

де $x_{\text{hast}} = \frac{a_3}{a_2}$, $k_{1,2,3,4} = \pm \sqrt{-\frac{a_1}{2} \pm \sqrt{\frac{a_1^2}{4} - a_2}}$.

Коефіцієнти A_1, A_2 визначаємо, використовуючи початкові умови

$$x_1(0) = 0, \dot{x}_1(0) = 0, \ddot{x}_1(0) = 0, x_2(0) = 0.$$

Знаходимо коефіцієнти

$$A_3 = A_4 = 0, A_1 = -\frac{a_3 k_2^2}{a_2(k_2^2 - k_1^2)}, A_2 = \frac{a_3 k_1^2}{k_2^2 - k_1^2}.$$

Після цього рівняння (4) приймає вид

$$x_1 = \frac{a_3}{a_2} \left[1 - \frac{1}{k_2^2 - k_1^2} (k_2^2 \cos k_1 t - k_1^2 \cos k_2 t) \right]. \quad (5)$$

Рівняння руху для другої і третьої мас будуть складати

$$x_2 = \frac{a_3}{a_2} \left\{ 1 + \frac{1}{k_2^2 - k_1^2} \left[k_2^2 \left(\frac{m_1 k_1^2}{C_1} - 1 \right) \cos k_1 t - k_1^2 \left(\frac{m_1 k_2^2}{C_1} - 1 \right) \cos k_2 t \right] \right\} - \frac{P - W}{C_1}$$

$$x_3 = \frac{a_3}{a_2} \left\{ 1 - \frac{k_2^2}{k_2^2 - k_1^2} \left[\left(1 + \frac{C_1}{C_2} \right) \left(\frac{m_1 k_1^2}{C_1} - 1 \right) - \frac{k_1^2 m_2}{C_2} \left(\frac{m_1 k_1^2}{C_1} - 1 \right) + \frac{C_1}{C_2} \right] \cos k_1 t + \right.$$

$$\left. + \frac{k_1^2}{k_2^2 - k_1^2} \left[\frac{m_2 k_2^2}{C_2} \left(\frac{m_1 k_2^2}{C_1} + 1 \right) - \left(1 + \frac{C_1}{C_2} \right) \left(\frac{m_1 k_2^2}{C_1} - 1 \right) + \frac{C_1}{C_2} \right] \cos k_2 t \right\} - \left(1 + \frac{C_1}{C_2} \right) \frac{P - W}{C_1}. \quad (7)$$

Знаходимо зусилля в пружних зв'язках

$$F_1 = P - \frac{a_3 k_1^2 k_2^2}{a_2(k_2^2 - k_1^2)} (\cos k_1 t - \cos k_2 t) \quad (8)$$

$$F_2 = \frac{C_2 a_3}{a_2(k_2^2 - k_1^2)} \left\{ k_2^2 \left[\left(\frac{m_1 k_1^2}{C_1} - 1 \right) \left(2 + \frac{C_1 - m_2 k_1^2}{C_2} \right) + \frac{C_1}{C_2} \right] \cos k_1 t + k_1^2 \left[\left(\frac{m_1 k_2^2}{C_1} - 1 \right) \left(\frac{m_2 k_2^2 - C_1 - 2}{C_2} \right) + \frac{C_1}{C_2} \right] \cos k_2 t \right\} + P - W \quad (9)$$

Піднімально-транспортні машини

Проведемо розрахунок для мостового крану вантажопідйомністю 5 т прогоном 22,5 м, висотою підйому 8 м, режимом роботи 7 К, $m_1 = 67121$ кг, $m_2 = 35525$ кг, $C_1 = 156386719$ Н·м, $C_1' = 116568283,5$ Н·м, $C_2 = 2102$ Н·м.

Частота коливань в першому випадку (колесо старої конструкції) $\omega = 11,52$ 1/с, у другому випадку (колесо із пружною вставкою) $\omega = 9,9$ 1/с, амплітуда коливань: у першому випадку $A_1 = 0,096$ мм, у другому $A_1 = 0,0715$ мм. Зусилля зв'язку у першому випадку $F_1 = 9371,86$ Н, у другому $F_1 = 8971,86$ Н. Коефіцієнт динамічності складає для колеса старої конструкції 1,25, для колеса з гумовою вставкою 1,05.

Висновки

Отримані рішення трьохмасової системи дають можливість точно визначати параметри динамічних складових навантажень при пересуванні ходових кранових коліс вантажних візків кранів мостового типу. Як показали розрахунки (рис. 2) застосування ходового колеса значно зменшує динамічні навантаження.

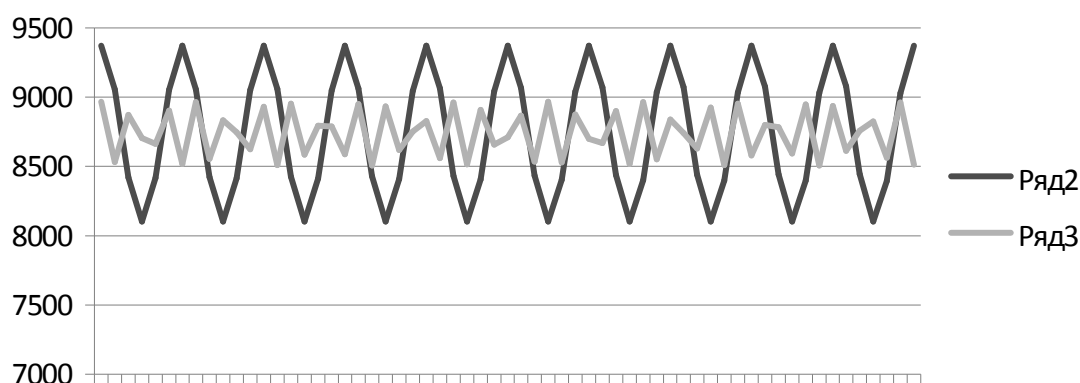


Рис. 2 – Графік зусилля зв'язку

Список використаних джерел:

1. Ковальский Б. С. Вопросы передвижения мостовых кранов / Б. С. Ковальский. – Луганск, ВГУ, 1998. – 39 с.
2. Казак С. А. Динамика мостовых кранов / С. А. Казак. – М.: Машиностроение, 1968. – 332 с.
3. Лобов Н. А. Динамика передвижения кранов по рельсовому пути / Н. А. Лобов. – М.: Изд-во МГТУ, 2003. – 232 с.
4. Гайдамака В. Ф. Грузоподъемные машины / В. Ф. Гайдамака. – К.: Вищ. шк., 1989. – 208 с.
5. Будівельна механіка металевих конструкцій дорожньо-будівельних, підйомних і транспортних машин: підручник / В. Д. Шевченко, В. Г. Піскунов, Ю. М. Федоренко [та ін.]; за ред. В. Г. Піскунова, В. Д. Шевченка. – К.: Вищ. шк., 2004. – 438 с.
6. Фідровська Н. М. Динамічні навантаження при пересуванні ходових коліс з гумовими вставками / Н. М. Фідровська, Є. Д. Слепужніков О. В. Чернишенко // *Машинобудування*: зб. наук. пр. / Укр. інж.-пед. акад. – Харків, 2015. – Вип. 15. – С. 87–91.

References

1. Kovalskiy, B 1998, *Voprosy peredvizheniya mostovykh kranov*, VGU, Lugansk.
2. Kazak, S 1968, *Dinamika mostovykh kranov*, Mashinstroeniye, Moskva.
3. Lobov, N 2003, *Dinamika peredvizheniya kranov po relsovomu puti*, Izdatelstvo MGTU, Moskva.
4. Gaydamaka, V 1989, *Gruzopodyemnyye mashiny*, Vyshcha shkola, Kyiv.
5. Shevchenko, V, Piskunov, V & Fedorenko, Yu 2004, *Budivelna mekhanika metalevykh konstruksii dorozhno-budivelnnykh, pidiomnykh i transportnykh mashyn*, Vyshcha shkola, Kyiv.
6. Fidrovskaya, N, Slepuzhnikov, E & Chernyshenko, O 2015, 'Dynamichni navantazhennia pry peresuvanni khodovykh kolis z gumovymy vstavkamy', *Mashynobuduvannia*, iss. 15, pp. 87-91.

Стаття надійшла до редакції 24 листопада 2015 р.