

УДК 621.874

КОЛИВАЛЬНІ ПРОЦЕСИ В ГОЛОВНІЙ БАЛЦІ МОСТОВОГО КРАНА

©Фідровська Н. М., Краснокутська Т. Б.

Українська інженерно-педагогічна академія

Інформація про авторів:

Фідровська Наталія Миколаївна: ORCID: 0000-0002-5248-273X; mot@uipa.edu.ua; доктор технічних наук; професор кафедри металоріжучого обладання і транспортних систем; Українська інженерно-педагогічна академія; вул. Університетська, 16, м. Харків, 61003, Україна.

Краснокутська Тетяна Борисівна: ORCID 0000-0002-5259-0300; krat63@mail.ru; асистент кафедри охорони праці, стандартизації та сертифікації; Українська інженерно-педагогічна академія; вул. Університетська, 16, м. Харків, 61003, Україна.

В статті розглянуті питання коливань в головній балці мостового крана, які виникають при пересуванні по мосту вантажного візка. Умовно прийнято, що маса, яка рівномірно розподілена по всій довжині балки, зосереджена в трьох точках, а саме всередині прольоту і двох крайніх точках.

Були проведені розрахунки з урахуванням умов встановлення рейкової колії на мосту крана та закону розподілення навантаження від дії ходових коліс, які пересуваються по головній балці мосту мостового крана.

При цьому враховувалися характеристики балки, тобто її прогін, жорсткість перерізу та інтенсивність розподілення маси.

По результатам розрахунків зроблений висновок про вплив характеристик балки на резонансний режим коливань в головній балці.

Ключові слова: балка; рейка; колесо; прогин; частота коливання; міст; кран; візок; жорсткість.

Фидровская Н. Н., Краснокутская Т. Б. «Колебательные процессы в главной балке мостового крана».

В статье рассмотрены вопросы колебаний в главной балке мостового крана, которые возникают при передвижении по мосту грузовой тележки.

Условно принято, что масса, которая равномерно распределена по всей длине балки, сконцентрирована в трех точках, а именно в середине пролета и двух крайних точках.

Были проведены расчеты с учетом условий установки рельсового пути на мосту крана и закона распределения нагрузки от действия ходовых колес, которые передвигаются по главной балке моста мостового крана.

При этом учтены характеристики балки, то есть ее пролет, жесткость сечения та интенсивность распределения массы.

По результатам расчетов сделан вывод о влиянии характеристик балки на резонансный режим колебаний в главной балке.

Ключевые слова: балка; рельс; колесо; прогиб; частота колебаний; мост; кран; тележка; жесткость.

Fidrovska N., Krasnokutska T. “Vibration process in main beam of bridge crane”.

On the article consideration questions vibrations in main beam of bridge crane, which appears during the moving through the bridge of carry cart. It is taken as a condition, that mass which equally distributed on the whole of the length of the beam, is concentrated in three points, that are in the middle of a span and two border points.

Follow the calculations with take into consideration conditionally placing of rail on crane bridge and the law distribution of loading from motion wheels which motion on beam.

In this take into consideration characters of beam that is her span, hard of section and intensive distribution of mass in main beam/

It is made a conclusion about the influence of characteristic of beam on the resonance regime of vibration.

Keywords: beam; rail; wheel; bend; frequent of vibration; bridge; crane; cart; hard.

1. Постановка проблеми

Коливальні процеси мають дуже важливе значення для різних машин. Для мостових кранів несучі металокопункції являють собою пружні системи з безкінечним числом вільності. Коливання таких систем описується диференційним рівнянням в часткових похідних. При цьому виникають певні труднощі при вирішенні задач про сумісну роботу мосту і кранових механізмів.

2. Аналіз останніх досліджень і публікацій

Питаннями коливань механічних систем займалися багато видатних вчених, таких як С. П. Тимошенко [1], В. Д. Шевченко [2], В. Г. Піскунов [3], С. А. Казак [4], В. І. Сухінін [5], Н. А. Лобов [6], Я. Г. Пановко [7], Р. К. Алексеєв [8], М. М. Гохберг [9], А. В. Вершинський [10] та інші.

Якщо балка має рівний опір згинанню то визначення жорсткості балки на згин проводиться досить просто. Але на практиці частіше застосовують балки із ступінчастою зміною перерізу. Тоді прогин в таких балках може визначатися або безпосереднім інтегруванням диференційного рівняння пружної лінії або графо-аналітичним методом з використанням аналогії Мора.

Визначення динамічних навантажень в металокопункціях мостових кранів базуються на методиках М. М. Гохберга, Р. Е. Винограда, С. А. Казака і Н. А. Лобова.

3. Виклад основного матеріалу дослідження

Якщо умовно прийняти, що маса балки, яка рівномірно розподілена по всій її довжині, зосереджена в трьох перерізах: всередині прольоту і двох крайніх опорах [2] (рис. 1). Тоді отримаємо систему з одним ступенем вільності, де $M = \frac{ml}{2}$.

Координати рухомої сили визначаються її швидкістю v та часом руху t від початку лівої сторони балки.

Прогин балки у момент руху t від одиничної сили $F=1$

$$f(t) = F\xi(t).$$

Піднімально-транспортні машини

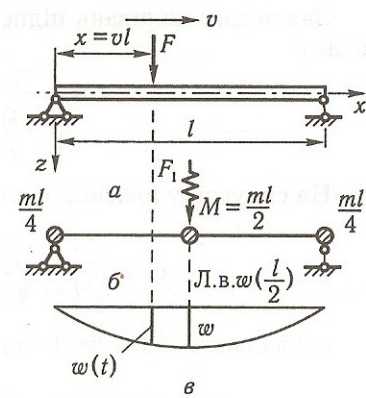


Рис. 1 – Розрахункова схема

Прогин балки буде викликати динамічна сила, яка з'являється при пересуванні ходових коліс вантажного візка рейкою. Якщо рейка спирається по всій довжині на масивний фундамент, то в перерізі рейки, який знаходиться на відстані x_1, x_2 від тиску ходових коліс P_1, P_2 момент згину визначиться за формулою:

$$M = \frac{1}{4\beta} (P_1\varphi_1 + P_2\varphi_2 + \dots), \tag{1}$$

де

$$\varphi = e^{-\beta x_i} (\cos \beta x_i - \sin \beta x_i),$$

$$\beta = \sqrt[4]{\frac{kB}{4EI}},$$

де B – ширина підшви рейки;
 I, E – момент інерції і модуль пружності рейки.
 k – модуль основи.
 Тиск під підшвою рейки

$$P = \frac{\beta}{2B} (P_1\psi_1 + P_2\psi_2 + \dots); \tag{2}$$

Рівняння коливань системи буде мати вигляд

$$\ddot{z} + \omega z = \frac{\beta}{2M} \{P_1 e^{-\beta x} (\cos \beta x - \sin \beta x) + P_2 e^{-\beta(x+a)} [\cos \beta(x+a) - \sin \beta(x+a)]\} \tag{3}$$

де

M – зосереджена маса,
 a – база крана,
 ω – частота коливань.

Закон коливань буде мати вигляд

$$z = C_1 \cos \omega x + C_2 \sin \omega x + z_{hast}, \tag{4}$$

де

$$z_{hast} = A e^{-bx} (\cos dx - \sin dx), \tag{5}$$

$$A = \frac{\beta}{2M}; \quad b = \beta;$$

$$d = \sqrt{P_1 - P_2 e^{-\beta a} (\cos \beta a + \sin \beta a) - \beta^2 - \omega}$$

$$\omega = \sqrt{\omega}.$$

Власні коливання мають частоту

$$\omega = \sqrt{\frac{C}{M}} = \sqrt{\frac{96EI}{ml^4}} = \frac{9,8}{l^2} \sqrt{\frac{EI}{m}}.$$

Коефіцієнти C_1, C_2 знаходимо з початкових умов

$$z = 0|_{x=0} \quad \text{і} \quad z = 0|_{x=l}.$$

Тоді отримуємо

$$C_1 = -\frac{\beta}{2M},$$

$$C_2 = -\frac{\beta[\cos wl + e^{-\beta l}(\cos dl - \sin dl)]}{2M \sin wl}$$

Рівняння (4) тоді приймає вигляд

$$z = -\frac{\beta}{2M} \left[\cos wx + \frac{\cos wl + e^{-\beta l}(\cos dl - \sin dl)}{\sin wl} \sin wx + e^{-\beta x}(\cos dx - \sin dx) \right] \quad (6)$$

Якщо $wl \rightarrow \frac{\pi}{2}$, то маємо критичний резонансний режим.

Висновки

Як показали проведені розрахунки, резонансний режим коливань залежить від характеристик балки, тобто її прогону, жорсткості перерізу та інтенсивності розподілення маси.

Список використаних джерел:

1. Тимошенко С. П. Устойчивость упругих систем / С. П. Тимошенко ; пер. с англ. – 2-е изд. – М. : Гостехтеоретиздат, 1955. – 532 с.
2. Будівельна механіка металевих конструкцій дорожньо-будівельних, підйомних і транспортних машин: підручник / В. Д. Шевченко, В. Г. Піскунов, Ю. М. Федоренко, В. К. Присяжнюк, О. В. Марчук ; за ред. В. Г. Піскунова, В. Д. Шевченка. – К. : Вища шк., 2004. – 438 с.
3. Расчет крановых конструкций методом конечных элементов / В. Г. Пискунов, И. М. Бузук, А. С. Городецкий [и др.]. – М. : Машиностроение, 1991. – 240 с.
4. Казак С. А. Динамика мостовых кранов / С. А. Казак. – М. : Машиностроение, 1968. – 332 с.
5. Сухінін В. І. Будівельна механіка та металеві конструкції будівельних і дорожніх машин / В. І. Сухінін. – К. : НМК ВО, 1992. – 252 с.
6. Лобов Н. А. Динамика передвижения кранов по рельсовому пути / Н. А. Лобов. – М. : Из-во МГТУ, 2003. – 232 с.
7. Пановко Я. Г. Устойчивость и колебания упругих систем / Я. Г. Пановко, И. И. Губанова. – М. : Наука, 1967. – 420 с.
8. Alexejev R. K. Statische elastische Wechselwirkung zwischen Fahrtriebwerk Krantragwerk in Bruckenbau / R. K. Alexejev // *Hebezeuge und Foerdermittel*. – 1973. – N 13, Heft.4.
9. Гохберг М. М. Металлические конструкции / М. М. Гохберг. – М. : Машиностроение, 1989. – 399 с.
10. Вершинский А. В. Строительная механика и металлические конструкции / А. В. Вершинский, М. М. Гохберг, В. П. Семенов. – Л. : Машиностроение, 1984. – 231 с.

References

1. Timoshenko, S 1955, *Ustoychivost uprugikh system*, 2nd edn, Gostekhteorizdat, Moskva.
2. Shevchenko, V, Piskunov, V, Fedorenko, Iu, Prisyazhniuk, V & Marchuk, O 2004, *Budivelna mekhanika metalevykh konstrukttsii dorozhno-budivelnykh, pidiomnykh i transportnykh mashyn*, Vyshcha shkola, Kyiv.
3. Piskunov, V, Buzuk, I & Gorodetskiy, A 1991, *Raschet kranovykh konstrukttsiy metodom konechnykh elementov*, Mashinostroyeniye, Moskva.
4. Kazak, S 1968, *Dinamika mostovikh kranov*, Mashinostroyeniye, Moskva.
5. Sukhinin, V 1992, *Budivelna mekhanika ta metalevi konstrukttsii budivelnykh i dorozhnykh mashyn*, NMK VO, Kyiv.
6. Lobov, N 2003, *Dinamika peredvizheniya kranov po relsovomu puti*, Izdatelstvo MGTU, Moskva.
7. Panovko, Ya & Gubanova, I 1967, *Ustoychivost i kolebaniya uprugikh system*, Nauka, Moskva.
8. Alexejev, R 1973, 'Statische elastische Wechselwirkung zwischen Fahrtriebwerk Krantragwerk in Bruckenbau', *Hebezeuge und Foerdermittel*, no. 13, Heft. 4.
9. Gokhberg, M 1989, *Metallicheskiye konstrukttsii*, Mashinostroyeniye, Moskva.
10. Vershinskiy, A, Gokhberg, M & Semenov, V 1984, *Stroitel'naya mekhanika i metallicheskiye konstrukttsii*, Mashinostroyeniye, Leningrad.

Стаття надійшла до редакції 18 травня 2015 р.