

С.О. ГУБСЬКИЙ, доц. НТУ «ХПІ»;
А.О. ОКУНЬ, асистент, НТУ «ХПІ»

СПРОЩЕННЯ РОЗРАХУНКІВ ДЛЯ ОЦІНКИ ТА ПРОГНОЗУВАННЯ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ МЕТАЛОКОНСТРУКЦІЙ КРАНІВ

Запропоновано новий підхід до спрощення розрахунків стану металоконструкцій кранів з подальшим прогнозуванням їх технічної придатності шляхом оптимізації алгоритму визначення інерційних та перекісних навантажень, що виникають при розгоні або гальмуванні крана (вантажного візка) та при русі крана відповідно.

Ключові слова: металоконструкція, кран, ресурс, інерція, перекіс, вантаж, рух.

Вступ. Майже 89 % мостових кранів України вже відпрацювали свій нормативний строк [1]. Для продовження їх подальшої експлуатації необхідно проведення експертного обстеження. При цьому виконання розрахунково-аналітичних процедур оцінки та прогнозування технічного стану крана обов'язкове [2, 3].

Аналіз останніх досліджень. Для оцінювання стану металоконструкцій кранів існують такі основні системи розрахунків: за допустимими напруженнями (*Гохберг М. М., Брауде В. І.*), система ймовірних розрахунків (*Брауде В. І., Зарецький О. Л., Райзер В. Д.*), за граничними станами (*Стрілецький Н. Г., Гохберг М. М., Соколов С. О.*), за накопиченими пошкодженнями. Досить прийнятно алгоритм розрахунку довговічності (ресурсу) металоконструкції крана наведено в роботі *Соколова С. А.* [4].

Постановка задачі. Складними та дискусійними є наступні питання:

- визначення інерційного навантаження, що виникає при розгоні та гальмуванні крана (або вантажного візка);
- визначення перекісного навантаження, що виникає при русі крана від взаємодії колеса з рейкою (направлене вздовж рейок).

Мета статті. Полегшити розрахунки стану металоконструкцій кранів з подальшим прогнозуванням їх технічної придатності шляхом спрощення алгоритму визначення інерційних та перекісних навантажень, що виникають при розгоні або гальмуванні крана (вантажного візка) та при русі крана відповідно.

Математична модель. Одним із способів полегшення розрахунків ста-

ну металокопструкцій кранів з подальшим прогнозуванням їх технічного стану є використання напрацювань інших країн. У [5] досить чітко висвітлено алгоритм розрахунку інерційних навантажень, що виникають при розгоні або гальмуванні крана (вантажного візка). Розрахункова схема зображена на рис. 1, а сила F_α обчислюється у кН та знаходиться формулою (1):

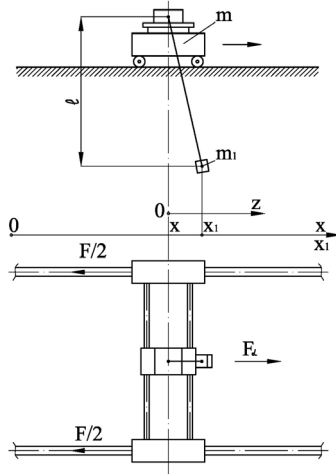


Рис. 1 – Розрахункова схема інерційного (горизонтального) навантаження від відхилення вантажних канатів.

$$F_\alpha = m_1 \cdot g \cdot \frac{x_1 - x}{\ell} = m_1 \cdot g \cdot \frac{z}{\ell}, \quad (1)$$

де ℓ – висота підвісу вантажу, м; m_1 – маса вантажу, т; x – координата візка, м; x_1 – координата центра ваги вантажу, м; g – прискорення вільного падіння, м/с².

Рух вантажу при розгоні (гальмуванні) крана (візка) опишемо системою рівнянь

$$\begin{cases} m_1 \cdot x_1'' = m_1 \cdot g \cdot \frac{x_1 - x}{\ell}, \\ m \cdot x'' = m_1 \cdot g \cdot \frac{x_1 - x}{\ell} - F, \end{cases} \quad (2)$$

m – еквівалентна маса, т,

$$m = m_0 + \sum_i \frac{I_i \cdot \omega_i^2}{v^2}, \quad (3)$$

де m_0 – маса всіх елементів, що рухаються, т; I_i – момент інерції елементів, що обертаються, кг·м²; ω_i – кутова швидкість обертання елементів, рад/с.

Приймаємо $x = 0$, $t = 0$. Початкові умови для часу $t = 0$ наступні:

$$x_1 = x = 0, \quad x_1'' = x' = v, \quad z = x_1 - x = 0, \quad z' = x_1' - x' = 0. \quad (4)$$

Тоді

$$\frac{g}{\ell} = \omega_1^2, \quad \frac{m_1}{m} \cdot \frac{g}{\ell} = \omega_2^2, \quad \omega_1^2 + \omega_2^2 = \omega_\Gamma^2.$$

Прискорення крана (візка) описується за формулою

$$J_0 = F/m.$$

Тоді систему рівнянь (2) запишемо у такому вигляді:

$$\begin{cases} x'' + z'' + \omega_1^2 \cdot z = 0, & x'' - \omega_2^2 \cdot z = J_0, \end{cases}$$

звідси

$$z'' + \omega_\Gamma^2 \cdot z = J_0.$$

При початкових умовах (4), маємо:

$$z = \frac{J_0}{\omega_\Gamma^2} (1 - \cos \omega_\Gamma \cdot t); \quad (5)$$

$$x' = v - \frac{\omega_1^2}{\omega_\Gamma^2} \cdot J_0 \cdot t - \frac{\omega_2^2}{\omega_\Gamma^2} \cdot \frac{J_0}{\omega_\Gamma} \cdot \sin \omega_\Gamma \cdot t. \quad (6)$$

Приймаємо відхилення вантажу при розгоні (гальмуванні) крана (візка) з прискоренням J_0 :

$$J_0 / \omega_\Gamma^2 = z_m. \quad (7)$$

Значення $z = z_m$ – це відхилення вантажу внаслідок дії горизонтальної сили F_α , силу $F_{ам}$ визначимо так:

$$F_{ам} = m_1 \cdot J_m.$$

Із формул (1), (5) та (7) випливає, що

$$F_\alpha = F_{ам} \cdot (1 - \cos \omega_\Gamma \cdot t).$$

Якщо прискорення (гальмування) крана (візка) триває більше t_d (це найменший час, при якому формула (6) приводить до нульового значення x'), то

$$\omega_\Gamma \cdot t_d \geq \pi. \quad (8)$$

Тоді

$$F_{\alpha \max} = 2 \cdot F_\alpha.$$

Якщо умова (8) не виконана, це означає, що підйомний кран зупинився, перш ніж вантаж досяг свого максимального зміщення $z = z_m$. Однак після зупинки підйомного крана, вантаж буде продовжувати рухатися, таким чином, горизонтальна сила буде збільшуватися. При цьому

$$z = z_d \cdot \cos \omega_1 \cdot (t - t_d) + \frac{z'_d}{\omega_1} \cdot \sin \omega_1 \cdot (t - t_d),$$

де $z_d = z_m \cdot (1 - \cos \omega_\Gamma \cdot t_d)$, $z'_d = \omega_\Gamma \cdot z_m \cdot \sin \omega_\Gamma \cdot t_d$.

Максимальне значення горизонтальної сили $F_{\alpha\max}$ становить

$$F_{\alpha\max} = F_{\alpha} \sqrt{(1 - \cos \omega_{\Gamma} \cdot t_d)^2 + \frac{\omega_{\Gamma}^2}{\omega_1^2} \cdot \sin^2 \omega_{\Gamma} \cdot t_d}. \quad (9)$$

Тоді

$$F_{\alpha\max} / F = \psi_h. \quad (10)$$

Для визначення коефіцієнта ψ_h приймаємо деякі спрощення:

– час, який потрібен для затухання коливання вантажу при гальмуванні при постійному прискоренні, становить

$$T_m = \frac{v}{J_m}.$$

– період коливань вантажу при зупинці крана визначається за формулою

$$T_1 = \frac{2 \cdot \pi}{\omega_1} = 2 \cdot \pi \sqrt{\frac{\ell}{g}}.$$

Значення коефіцієнта ψ_h знаходимо як у [5, Figure. A.2.2.1] за величиною двох коефіцієнтів:

$$\mu = \frac{m_1}{m}; \quad \beta = \frac{T_m}{T_1}.$$

Підставивши у формулу (6), отримаємо:

$$x' = v \cdot \left[1 - \frac{\omega_{\Gamma} \cdot t + \mu \cdot \sin(\omega_{\Gamma} \cdot t)}{2\pi \cdot \beta \cdot \sqrt{1 + \mu}} \right];$$
$$\frac{\omega_{\Gamma} \cdot t + \mu \cdot \sin(\omega_{\Gamma} \cdot t)}{2\pi \cdot \beta \cdot \sqrt{1 + \mu}} = 1. \quad (11)$$

Із рівняння (11) знаходимо ω_{Γ} та t_d , що використовуються у формулі (9).

Отже, максимальне інерційне (горизонтальне) навантаження від відхилення вантажних канатів при розгоні (гальмуванні) крана (візка) (з формули (10)) буде таким:

$$F_{\alpha\max} = \psi_h \cdot F_{\alpha}.$$

Також у [5] запропоновано досить ефективний спосіб визначення поперечних реакцій, що виникають від дії перекісного навантаження T_D при експлуатаційному навантаженні мостового крана:

$$W = R \cdot \lambda,$$

де R – реакція в опорі (в колесі); λ – коефіцієнт, що визначається з рис. 2 джерела [5].

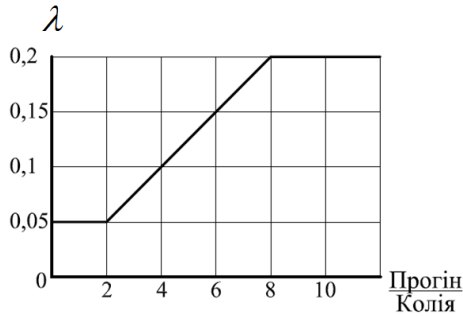


Рис. 2 – Графік для визначення коефіцієнта λ .

Перекісне навантаження T_D , що виникає при русі крана від взаємодії колеса з рейкою (направлене вздовж рейок), визначається за формулою

$$T_D = (2 \cdot W \cdot A / 2) / L = (W \cdot A) / L,$$

де A – база крана.

Висновки. Використовуючи напрацювання в міжнародній нормативній базі, можна значно спростити розрахунки для оцінки та прогнозування технічного стану металокопструкцій кранів.

Список літератури: 1. Андриенко Н. Н. Куда идем, куда поворачиваем? / Н. Н. Андриенко, В. Л. Корень, С. Я. Полнарёв // Подъёмные сооружения. Специальная техника. – 2011. – №7–8. 2. НПАОП 0.00-1.01-07. Правила устройства и безопасной эксплуатации грузоподъемных кранов // Изд-во «Форт», 2007. – 256 с. 3. ОМД 00120253.001-2005. Методика проведения экспертного обследования (технического диагностирования) кранов мостового типа. – К. : Держнаглядохоронпраці України, 2005. – 157 с. 4. Соколов С. А. Металлические конструкции подъемно–транспортных машин: Учебное пособие. – СПб. : Политехника, 2005. – 423 с. 5. F.E.M. 1.001 3rd edition revised 1998.10.0. Rules for the design of hoisting appliances. Booklet 2. Classification and loading on structures and mechanisms, 1998 – 60 с.

Надійшла до редколегії 30.09.2013

УДК 621.8

Спрощення розрахунків для оцінки та прогнозування технічного стану металокопструкцій кранів / С. О. Губський, А. О. Окунь // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Математичне моделювання в техніці та технологіях. – Харків: НТУ «ХПІ», 2013. – №54 (1027). – С. 106 – 110. Бібліогр.: 5 назв.

Предложен новый подход к упрощению расчетов состояния металлоконструкций кранов с последующим прогнозированием их технической пригодности путем оптимизации алгоритма определения инерционных и перекосных нагрузок, возникающих при разгоне или торможении крана (грузовой тележки) и при движении крана соответственно.

Ключевые слова: металлоконструкция, кран, ресурс, инерция, перекос, груз, движение.

Proposes a new approach to simplify the calculations of the crane metal constructions and then predicting their technical condition by optimization the algorithm for determining of sideway loads and inertial loads generated during acceleration or deceleration crane (trolley) and when moving the crane, respectively.

Key words: metal construction, crane, resource, inertia, distortion, freight, movement.