

УДК 69.57.002.2

Р. С. Пиляєв, пошукувач КНУБА

## ОЦІНКА ТА АНАЛІЗ НАДІЙНОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ БАШТОВИХ КРАНІВ В БУДІВНИЦТВІ

**Актуальність роботи.** Сучасний стан виготовлення та експлуатації баштових кранів базується на зменшенні вартості виготовлення модулів шляхом збільшення об'єму випуску виробів одного типорозміру, зменшення потреби в площах і вживаному устаткуванні, а також збільшення в 5-10 разів числа виконань, що випускаються. Щодо експлуатації висуваються задачі будівництва об'єктів різної поверховості і складності, зниження вартості технічного обслуговування і ремонту за рахунок зменшення числа типорозмірів кранів і ширшого використання агрегатного ремонту, скорочення зайвих запасів невживаних секцій башт і стріл, а в результаті отримання високопродуктивних кранів.

У нових сучасних кранів закладені наступні прогресивні рішення [1]:

– мобільне виконання кранів з нижнім і верхнім поворотом (при транспортуванні не потрібний демонтаж електроустаткування і канатів), що за наявності пристроїв для гідромонтажу і швидкороз'ємних стиків дозволяє скоротити в 2-3 рази час на перебазування кранів;

- можливість поєднання не двох, а трьох рухів;
- розширений діапазон регулювання швидкостей робочих рухів;
- підвищена надійність кранів;
- збільшені швидкості робочих рухів (підйому, повороту пересування вантажного візка), а також діапазон регулювання швидкостей робочих рухів;
- нові ходові візки з підвищеною на 20% несучою здатністю;
- підйомник машиніста для кранів з вантажним моментом 200, 250, 400 тм.

**Методика та результати досліджень.** Існують оптимальні умови вибору рівня надійності, тобто фактичній довговічності деталей і вузлів баштового крана, при яких витрати від простоїв і експлуатаційні витрати на усунення відмов будуть мінімальними. Оптимальний рівень надійності задовольняє умові:

$$dR/dT_{cp} = 0$$

де  $R$  – є сумарні витрати від простоїв баштових кранів і витрати на усунення відмов;  
 $T_{cp}$  – середній ресурс деталей, вузлів або всього крана в цілому.

Для забезпечення оптимального рівня надійності баштових кранів створена замкнута система забезпечення надійності баштових кранів, що є сукупністю дослідницьких, конструкторських, організаційно-технічних, економічних і соціальних завдань, зв'язаних стійкими прямими і зворотними зв'язками [1]. При цьому порушення будь-якого із зв'язків веде до істотних порушень усередині всієї сукупності, що знижує надійність. Враховуючи, що баштовий кран є машиною підвищеної небезпеки, вказані порушення призводять до зниження безпеки [1].

Вказана система є циклічною, такою, що повторюється для кожної моделі баштового крана з початку серійного виробництва до закінчення випуску його і всіх модифікацій.

Одному з найважливіших завдань, що вирішується в системі забезпечення надійності, є організація збору і аналіз статистичної інформації про відмови баштових кранів в умовах експлуатації.

Аналіз результатів експлуатаційних досліджень дозволяє виявити причинно-наслідкову сторону виникнення відмов, віднести їх за рахунок недоліків конструкції,



виготовлення або експлуатації (причиною відмов можуть бути два або всі три види недоліків) і розробити заходи щодо усунення конкретних причин виникнення відмов.

Режим роботи баштового крана за ГОСТом 25546–82 характеризується числом циклів роботи крана за термін його служби і коефіцієнтом навантаження. Число циклів визначають за наслідками техніко-економічного аналізу використання кранів в народному господарстві з урахуванням їх терміну служби, який складає 10 років для кранів вантажопідйомністю до 10 т і 16 років для кранів вантажопідйомністю більше 10 т [1].

Коефіцієнт  $K_p$  є початковим моментом третього порядку розподілу переміщуваних вантажів і може бути виражений у функції коефіцієнта змінності мас елементів будівель  $K_c$ , які побудовані краном за термін його служби. Зокрема, для кранів, використовуваних на найбільш поширеному великопанельному будівництві, може бути застосована залежність:

$$K_p = 0,75 \cdot \sum_i \left( \frac{m_i}{m_{\max}} \right)^3 P_i, \quad (1)$$

де  $m_i$  – маса і-го вантажу, переміщуваного краном;  $m_{\max}$  – маса вантажу, відповідна номінальній вантажопідйомності крана;  $P_i$  – вірогідність наявності елементів будівлі з масою  $m_i$  за термін служби крана.

Коефіцієнт  $K_c$  зручно визначити за типами будівель з виразу:

$$K_c = \sum_j K_{cj} P_j,$$

$K_{cj} = 3 \sum_i \left( \frac{m_{ji}}{m_{\max}} \right) \frac{n_{ij}}{\sum n_{ij}}$  – коефіцієнт змінності мас елементів для  $j$ -ої будівлі (тут

$m_{ji}$  – маса вантажу в  $j$ -ій будівлі);  $n_{ij}$  – число елементів масою  $m_{ij}$  в  $j$ -ій будівлі);  $P_j$  – вірогідність появи  $j$ -х будівель в загальному об'ємі будівель, що зводяться краном.

Вірогідність появи кожного типу будівель  $P_j$  можна оцінити по питомій вазі в загальному об'ємі будівель, які побудовані краном за термін його служби. При цьому зміна об'єму використання проекту з моменту будівництва перших будівель і до зняття проекту з виробництва описується напівхвилею синусоїди. Коефіцієнт  $K_{cj}$  обчислюють за проектними даними будівель і пропонується наступна залежність математичного очікування  $\bar{K}_{cj}$  від року розробки проекту  $t_p$  для  $j$ -ої будівлі з елементів з найбільшою масою до 8 т [1]:

$$\bar{K}_{cj} = \begin{cases} \bar{K}_{c_0} & \text{якщо } 0 \leq t \leq t_1 \\ 0,27 - 0,415 \exp(-0,058 \Delta t) & \text{якщо } t > t_1 \\ \Delta t = t - t_p & \end{cases}, \quad (2)$$

де  $\bar{K}_{c_0} = 0,037$  – найменше значення коефіцієнта  $\bar{K}_c$ ;  $t_1$  – рік впровадження  $j$ -х будівель для масової забудови. При цьому середньоквадратичне значення  $\sigma_c$  коефіцієнта визначається у функції математичного очікування  $\bar{K}_c$  по залежності:

$$\sigma_c = 0,1\bar{K}_{cj},$$

Криві  $\bar{K}_{cj}$  мають межу, рівну 0,27, який, як показує аналіз, приблизно відповідає рівномірному розподілу мас елементів будівель. Ймовірно, при існуючій технології будівництва рівномірний розподіл забезпечує оптимальне поєднання мас елементів для висотних будівель.

Як показали дослідження, залежність (2) може бути використана також і для будівель з елементами масою  $m_{\max} > 8$  т. При цьому параметри кривої слід визначити з виразів:

$$K_{C_o} = 1,35K_{cx} \left( \frac{m_i}{m_{\max}} \right)^3, \quad \Delta t = t_p - 2t_1 + \Delta t_x \quad (3)$$

де  $m_{\max}$  – маса вантажу, відповідна номінальній вантажопідйомності крана, найближчого у ряді баштових кранів по вантажопідйомності до  $m_{\max}$ ;  $K_{cx}$  – коефіцієнт змінності мас елементів будівель з масою  $m_{\max}$  до моменту розробки перших будівель з елементами масою  $m_{\max}$ ;  $\Delta t_x$  – значення  $\Delta t$ , відповідне коефіцієнту  $K_{cx}$  з виразу (2) для будівель з елементами масою  $m_{\max}$ .

Використовуючи залежності (1) і (2), обчислюється коефіцієнт  $\alpha$ , що характеризує вплив мінливості розподілу мас елементів будівель на коефіцієнт  $K_c$ :

$$\alpha = K_{ct} / K_{ct}^*,$$

де  $K_{ct}^*$  і  $K_{ct}$  – коефіцієнти змінності мас елементів будівель для року створення з виразу (2) і для тих, які будуватимуть протягом терміну служби крана, починаючи з  $t$ -го року.

При обчисленні коефіцієнта  $\alpha$  враховується термін служби крана, тривалість випуску базової моделі крана, тривалість використання в будівництві проектів будівель, інтервал часу з моменту розробки проекту до його впровадження в масове виробництво. По результатах обчислення отримана наступна залежність коефіцієнта від року розробки будівель, відповідна довірчій вірогідності 0,95:

$$\alpha = \begin{cases} 0,1(\alpha_2 - \alpha_1)(t_p - t) + \alpha_1 i \text{ дè } t_p \leq t \leq t_1 \\ 1 + 7,15 \exp(-0,14\Delta t) i \text{ дè } t > t_1 \end{cases}, \quad (4)$$

де  $\alpha_1 = 1 + 1,12 \exp(-16,8K_{cx})$ .

Максимум коефіцієнта  $\alpha$  ( $\alpha = 2,8$ ) доводиться на 5-10 років після розробки перших проектів будівель і надалі коефіцієнт поступово зменшується. Таким чином, в результаті мінливості розподілу мас елементів будівель коефіцієнт розподілу мас за термін служби крана може істотно перевищувати його поточне значення  $K_{ct}^*$  на певний рік створення та застосування крана.

Приведений аналіз та оцінки уточнюють вибір та застосування баштових кранів залежно від їх вантажопідйомності і слугують вихідною інформацією для обґрунтування математичних моделей [2].

**Висновки.**

1. Виявлені основні параметри та встановлені критерії оцінки надійності застосування баштових кранів в будівництві.
2. Отримані аналітичні залежності застосування кранів слугують вихідною інформацією для створення математичної моделі технології і організації ефективного застосування баштових кранів в будівництві.

*Література*

1. Справочник по кранам: В 2 т. Т.1. Характеристики материалов и нагрузок. Основы расчета кранов, их приводов и металлических конструкций / В.И. Брауде, М.М. Гохберг, И.Е. Звягин и др.; Под общей ред. М.М. Гохберга. – Л.: Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1988. – 536 с.
2. Міхельс В.О., Шилюк П.С., Гойко А.Ф., Бондар В.П. Економіко-математичні методи та моделі в будівництві. – К.: Міленіум, 2006. – 380 с.