

Підйомно-транспортні машини

УДК 62.192

М.І. Назаренко¹, докторант,В.І. Король¹, аспірантка¹Київський національний університет будівництва і архітектури (КНУБА)

АНАЛІЗ КРИТЕРІЇВ НАДІЙНОСТІ БУДІВЕЛЬНОЇ ТЕХНІКИ ТА ФУНКЦІОНАЛЬНО-ТЕХНІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ ЇХНІХ МЕХАНІЗМІВ

АНОТАЦІЯ. У роботі виконано аналіз існуючих методик вибору і розрахунку показників надійності та означено показники, які пріоритетні для оцінки надійності будівельної техніки. Проведений аналіз паспортних даних більш ніж 160 моделей баштових кранів, які випускаються провідними світовими виробниками та встановлені середні значення конструктивної маси та сумарної потужності двигунів. На основі отриманих даних визначенні рівняння залежностей конструктивної маси крану та сумарної потужності двигунів від вантажопідйомності крану.

Ключові слова: надійність, показники надійності, конструктивна маса баштового крану, сумарна потужність двигунів баштового крану.

АННОТАЦИЯ. В работе выполнен анализ существующих методик выбора и расчета показателей надежности и обозначено показатели, приоритетные для оценки надежности строительной техники. Проведенный анализ паспортных данных более чем 160 моделей башенных кранов, выпускаемых ведущими мировыми производителями и установлены средние значения конструктивной массы и суммарной мощности двигателей. На основе полученных данных определены уравнения зависимости конструктивной массы крана и суммарной мощности двигателей от грузоподъемности крана.

Ключевые слова: надежность, показатели надежности, конструктивная масса башенного крана, суммарная мощность двигателей башенного крана.

ABSTRACT. In the paper there is the analysis of existing methods of choice and calculations of indicators of reliability. There are indicators which have the priority to assess the reliability of construction machinery. There is made the analysis of passport data of more than 160 models of tower cranes, which are produced by world leading manufacturers such as Liebherr, Jaso, Terex, Potain. Based upon received data there were made graphs and certain equations of correspondences of constructive weight of the crane and total engine of power capacity of the crane. These equations constitute a recommendation to determine an approximate value of constructive mass and total engine power for cranes of various capacities.

Key words: reliability, indicators of reliability, constructive mass of tower crane, total engine power for tower crane.

Постановка проблеми. Швидкі темпи розвитку техніки призвели до росту вимог якості, яка є комплексною властивістю, до якої входять показники надійності, що характеризують властивості безвідмовності, довговічності, ремонтпридатності, збережуваності, та функціонально-технічні показники, які характеризують ефект від використання машини. Важливим фактором для підвищення надійності є правильний вибір і розрахунок показників надійності.

Аналіз попередніх досліджень і публікацій. Деякі автори наводять лише показники безвідмовної роботи, інтенсивності відмов та напрацювання на відмову [2]. Також має місце і дещо інший підхід для оцінки безвідмовної роботи і зазначеними такими показниками як параметр потоку відмов та запас надійності [4]. Певна увага приділена показникам ремонтпридатності, таким, як контролспридатність, доступність, легкознімність та взаємозамінність [3], а також – показникам безвідмовності та довговічності [1]. Також існують публікації, в яких наведено ширший діапазон основних критеріїв надійності, проте багато показників так і не зазначено [5]. Більшість машин, які



застосовують протягом всього року оцінюються показниками, як правило, трьох властивостей: безвідмовність, довговічність та ремонтпридатність. Але будівельно-дорожня техніка, окрім означених вище властивостей, оцінюється ще й збережувальністю.

У зв'язку з проведеним аналізом виникла необхідність порівняння показників надійності всіх чотирьох властивостей зазначених у різних джерелах.

Постановка завдання. Таким чином, першим кроком є проведення аналізу існуючих методик вибору і розрахунку показників надійності.

Другим кроком є дослідження паспортних даних баштових кранів провідних світових виробників з метою визначення залежностей конструктивної маси та сумарної потужності двигунів від вантажопідйомності крану.

Виклад основного матеріалу. Безвідмовність характеризує неперервну роботу виробу без будь-якого втручання (ремонт, технічного обслуговування). Основним показником безвідмовності – є ймовірність безвідмовної роботи $P(t)$.

Ймовірність безвідмовної роботи – ймовірність того, що в межах заданого напрацювання не відбудеться відмови об'єкта [1].

$$P(t) = 1 - F(t), \quad (1)$$

де $F(t)$ – ймовірність відмови.

При звичайних вимогах до надійності виробу (відмова не призводить до катастрофічних наслідків) безвідмовність виробу характеризує значення ймовірності безвідмовної роботи, $P(t)$. Хоч $P(t)$ за відповідний період часу є основним показником безвідмовності, можуть бути випадки коли необхідні додаткові показники (табл. 1).

Таблиця 1

Додаткові показники для розрахунку безвідмовності

Є відмови	$P(t) \rightarrow 0$	ω - параметр потоку відмов
Можливі відмови	$0 < P(t) < 1$	$P(t)$ - ймовірність безвідмовної роботи
Недопустимі	$P(t) \rightarrow 1$	K_H - коефіцієнт надійності

Для періоду $t=T$, на протягом якого, як правило, можуть виникнути відмови об'єкта і відповідно $P(t) \rightarrow 0$, що характерно для відмов, які можуть бути легко усунені і не призводять до катастрофічних наслідків характеристиками безвідмовності можуть слугувати середнє число відмов або параметр потоку відмов.

Параметр потоку відмов ω - середнє число відмов об'єкта за одиницю часу [2]:

$$\omega(t) = \frac{d\Omega(t)}{dt} = \frac{1}{T_0}, \quad (2)$$

де T_0 - напрацювання на відмову – відношення сумарної тривалості роботи (напрацювання) об'єкта до числа відмов, які виникли в цьому періоді (тобто середня тривалість безвідмовної роботи об'єкта), $\Omega(t)$ - середнє число відмов за час t .

Для високонадійних об'єктів, коли значення $P(t) \rightarrow 1$ використовують коефіцієнт запасу надійності [3]:

$$K_H = \frac{X_{max}}{X_{ек}} > 1, \quad (3)$$

де X_{max} - значення параметра при якому настає відмова об'єкта; $X_{ек}$ - екстремальна величина параметру.

Номенклатура показників довговічності включає в себе наступні одиничні показники довговічності : гамма-відсотковий ресурс , середній ресурс, середній термін служби, гамма-відсотковий термін служби.

В якості комплексного показника довговічності слід застосовувати коефіцієнт довговічності K_d , який дорівнює коефіцієнту технічного використання за весь час експлуатації [4]:

$$K_d = \frac{1}{1 + \sum_{i=1}^n \frac{\tau_i}{T_{ii}}}, \quad (4)$$

де τ_i - тривалість (трудомісткість) ремонту і-ї деталі машини (вузла); T_{ii} - термін служби (напрацювання) до відмови і-ї деталі машини (вузла). З формули випливає, що основним методом підвищення довговічності машини є зменшення часу, який затрачається на ремонт, і підвищення терміну служби деталей.

Оскільки коефіцієнт довговічності виражений через терміни служби і трудомісткості ремонту деталей машини, слід розглянути наступну складову надійності, яка полягає в пристосуванні виробу до попередження, виявлення і усунення відмов шляхом проведенням ремонтів і технічного обслуговування – ремонтпридатність.

Деякі дослідники надійності відносили ремонтпридатність до складової частини довговічності. Проте на сьогодні ремонтпридатність виділено як окрему повнозначну складову надійності, яка включає в себе наступні показники: гамма-відсотковий час відновлення, ймовірність відновлення, середня оперативна трудомісткість, тривалість, вартість ремонту. Застосовано до дорожньо-будівельної техніки ремонтпридатність характеризується ще й додатковими показниками: контролспридатністю, доступністю, легкознімністю, блочністю та взаємозамінністю. Комплексним показником ремонтпридатності може слугувати коефіцієнт готовності який оцінює передбачені зупинки машини, які засвідчують те, що планові ремонти не повністю виконують свою роль.

Коефіцієнт готовності - ймовірність того, що об'єкт виявиться працездатним в будь-який момент часу, окрім запланованих періодів, протягом яких застосування об'єкта за призначенням не передбачається [5]:

$$\hat{K}_r = \frac{\sum_{n=1}^N t_n}{\sum_{n=1}^N t_n + \sum_{n=1}^N \tau_n}, \quad (5)$$

де t_n - сумарне напрацювання n-го об'єкта в заданому інтервалі експлуатації; τ_n - сумарна оперативна тривалість відновлення працездатності n-го об'єкта в тому ж інтервалі експлуатації; N - число об'єктів, що розглядаються в заданому інтервалі експлуатації.

Важливою властивістю для машин сезонного використання є збережуваність, яка означає здатність об'єкта чинити опір негативному впливу факторів довгого зберігання і транспортування, а також забезпечувати після цього її застосування із заданими функціональними параметрами. Збережуваність оцінюється терміном збережаності, тобто календарною тривалістю зберігання або транспортування об'єкта, протягом і після якої зберігаються значення показників безвідмовності, довговічності і ремонтпридатності у встановлених межах.

Наступним етапом роботи став аналіз паспортних даних більш ніж 160 моделей баштових кранів, які випускаються провідними світовими виробниками, такими як Liebherr, Jaso, Rotain, Terex. На основі паспортних даних були визначені середні значення конструктивної маси та сумарної потужності двигунів для кранів певної вантажопідйомності (табл. 2).



Таблиця 2

Вихідні дані для розрахунку функціонально-технічних параметрів баптових кранів

Вантажопідйомність q , кг	Конструктивна маса, т	Потужність двигунів, кВт
2000	23.38	17.70
2500	24.76	21.93
4000	24.47	24.45
5000	28.07	30.26
6000	40.89	37.16
8000	49.11	49.49
10000	58.02	62.50
12000	68.12	74.19
16000	81.43	84.05
20000	96.92	94.83
24000	104.85	110.33
25000	120.33	117.00
32000	128.14	147.00
40000	138.84	154.50
50000	165.05	163.50
62571	263.50	210.17

Отримані дані дозволили нам побудувати графіки залежностей конструктивної маси (рис. 1) та сумарної потужності двигунів (рис. 2) від вантажопідйомності крана.

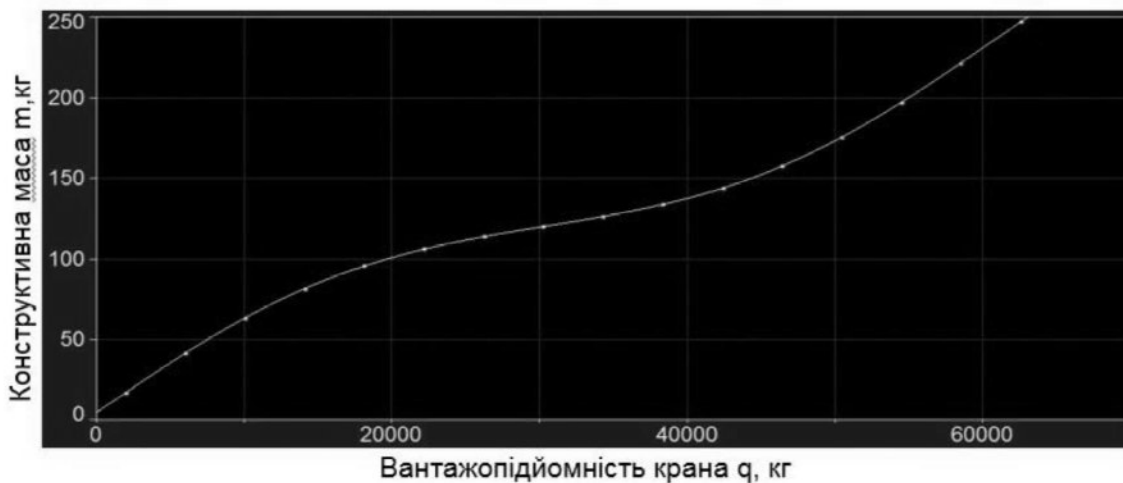


Рис. 1. Графік залежності конструктивної маси від вантажопідйомності крана

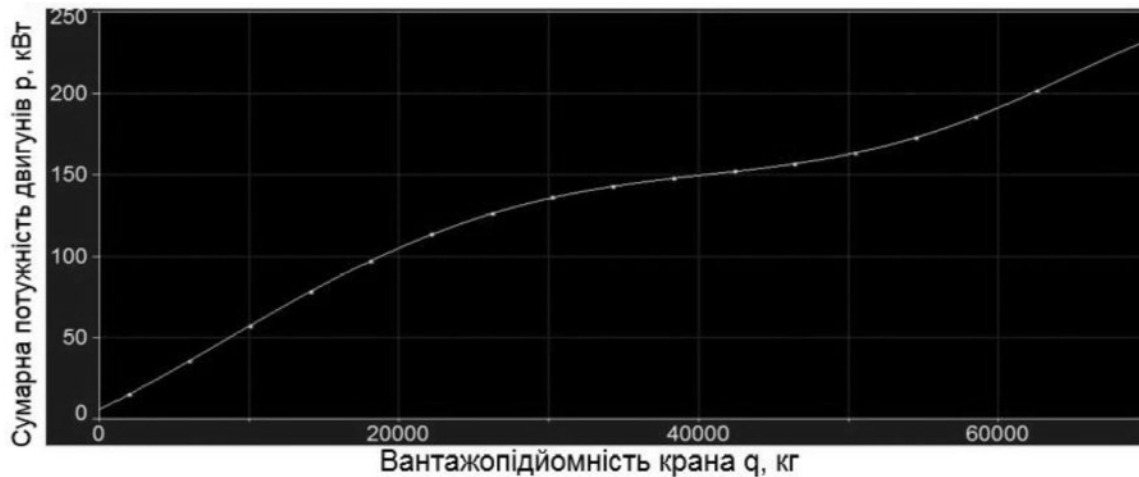


Рис. 2. Графік залежності сумарної потужності від вантажопідйомності крана

Результати досліджень дозволили нам знайти рівняння для визначення залежності конструктивної маси крана від вантажопідйомності:

$$m = 4.6 + q + 2.71e^{-0.8}q^2 - 8.245q^{-12} + 1.95q^{-16} - 1.27q^5, \quad (6)$$

та залежність сумарної потужності двигунів від вантажопідйомності крана:

$$p = 5.81 + q^2e^{-0.7} - 3.93e^{-12}q^3 - 3.29e^{-17}q^4 + 1.88e^{-21}q^5 - 1.37e^{-26}q^6, \quad (7)$$

де m – конструктивна маса крана, p – сумарна потужність двигунів крана, q – вантажопідйомність крана.

Висновки.

1. Проведено аналіз показників надійності та зазначено показники, які важливі для оцінки надійності будівельної техніки.

2. Ґрунтуючись на аналізі паспортних даних баптових кранів провідних закордонних і вітчизняних виробників, визначено середні значення конструктивної маси та сумарної потужності двигунів для різних значень вантажопідйомності.

3. Визначенні рівняння є рекомендацією для передбачення можливих значень конструктивної маси крану та сумарної потужності двигунів для крана певної вантажопідйомності.

4. Проведене дослідження дозволяє в подальшому створити модель, яка дозволить оцінити стан, параметри конструкції та спрогнозувати ресурс роботи підйомних механізмів, які нині експлуатуються в Україні або будуть імпортовані.

Література

1. Брауде В.И. Надежность подъемно-транспортных машин / В.И. Брауде, Л.Н. Семенов. – Л.: "Машиностроение", 1986. – 183 с.
2. Диллон Б. Инженерные методы обеспечения надежности систем: Пер. с англ. / Б. Диллон, Ч. Сиппх. – М.: Мир, 1984. – 318 с.
3. Основы надежности машин / И.Н. Кравченко, В.А. Зорин, В.А. Пучин, Г.И. Бондарева. – М., 2007. – 224 с.
4. Проников А.С. Надежность машин / А.С. Проников. – М.: "Машиностроение", 1978. – 592 с. – (Межиздательская серия "Надежность и качество").
5. Хазов Б.Ф. Справочник по расчету надежности машин на стадии проектирования / Б.Ф. Хазов, Б.А. Дидусев. – М.: "Машиностроение", 1986. – 224 с.
6. Баштові крани Potain [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.manitowocranes.com>.
7. Баштові крани Liebherr [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <http://www.liebherr.us/>.
8. Баштові крани Terex [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <http://www.terex.com/>.
9. Баштові крани Jaso [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <http://www.jaso.com/>.

Надійшло до редакції 5.05.2015 р.

Рецензент: д.т.н., проф. Яковенко В.Б.