

ОЦЕНКА ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ НАДЕЖНОСТИ КРАНОВЫХ КАНАТОВ

Бекерский В. И., Бекерский В.Г. (Одесса)

В настоящей работе предпринята попытка оценки надежности каната, выраженной временем его безотказной эксплуатации. Такая оценка может быть осуществлена на основании статистических данных [1], полученных при наблюдении за работой шести наиболее распространенных конструкций канатов на тридцати кранах.

Определение наработки каната по числу перегибов на блоках с помощью эмпирических формул основанных на результатах обширных экспериментальных исследований канатов на пробных машинах [1, 2, 3] и др. весьма условно. Эти формулы содержат ряд коэффициентов учитывающих те либо иные эксплуатационные условия и приводят к недостоверным решениям. Аналитический расчет долговечности каната, предложенный автором в монографии [1] позволяет получить более верные результаты. Однако он достаточно трудоемок. По статистическим данным [1], полученным при наблюдении за работой шести наиболее распространенных конструкций канатов на тридцати кранах, был составлен ряд распределения времени безотказной работы каната (табл. 1).

Таблица 1

x_i	250	750	1250	1750	2250	2750	3250	3750	4250
n_i	127	132	69	51	24	14	4	2	1
f_i	0,3	0,31	0,163	0,1203	0,057	0,033	0,009	0,0047	0,0024

где x_i – значение середины интервала безотказной работы каната; n_i – количество зарегистрированных отказов в i -ом интервале времени

безотказной работы каната; f_i – статистическая вероятность того, что время безотказной работы каната находится в i -ом интервале.

$$f_i = \frac{n_i}{n_0}, \quad (1)$$

величина частного интервала

$$\Delta x = \frac{x_{\max} - x_{\min}}{k},$$

$k = 9$ – принятое число интервалов.

Для оценки функции распределения времени безотказной работы каната определим основные параметры статистического ряда.

Среднее время безотказной работы каната

$$\bar{x} = \sum_1^k \frac{x_i n_i}{n_0}. \quad (2)$$

Дисперсия ряда, характеризующая рассеяние времени безотказной работы каната относительно ее среднего значения

$$D = \sigma^2 = \frac{\sum_1^k (x_i - \bar{x})^2 n_i}{n_0 - 1}. \quad (3)$$

Среднее квадратичное отклонение

$$\sigma = \sqrt{D}. \quad (4)$$

Третий основной параметр

$$r_3 = \frac{\sum_1^k (x_i - \bar{x})^3 f_i}{\sigma^3}. \quad (5)$$

Четвертый основной параметр

$$r_4 = \frac{\sum_{i=1}^k (x_i - \bar{x})^4 f_i}{\sigma^4}. \quad (6)$$

Значения параметров для данного случая сведены в табл. 2.

Таблица 2

\bar{x} (час.)	σ (час.)	D (час.)	r_3	r_4	Δx (час.)
1000	750	$5,625 \cdot 10^5$	2,1	4,15	500

Специальное исследование показало, что плотность распределения времени безотказной работы каната удовлетворительно описывается кривой Пирсона 3-го типа

$$f_{3(t)} = f_{3_0} \left(1 + \frac{t}{l_1} \right)^p e^{-\frac{t}{l_1}}. \quad (7)$$

где

$$l = x - \hat{X}; \quad \hat{X} = \bar{X} = \frac{r_3 \sigma}{2}; \quad l = \sigma \left(\frac{2}{r_3} = \frac{r_3}{2} \right); \quad p = \frac{4}{r_3^2} - 1;$$

$$f_{3_0} = \frac{1}{l_1} \cdot \frac{p^{p+1}}{e^p \Gamma(p+1)};$$

X – время безотказной работы каната; Γ – гамма-функция. Значения параметров определяющих кривую Пирсона 3-го типа сведены в табл. 4.

Таблица 3

\hat{X} (час.)	l_1 (час.)	p	f_{3_0}	Δx (час.)
600	960	2,32	0,3063	500

На рис. 1 показаны теоретический $f_{(t)}$ и статистический f_i графики плотности распределения времени безопасной работы каната.

Проверка согласованности теоретического и экспериментального распределений была проведена по критерию Пирсона с 5 % уровнем значимости. Число степеней свободы для кривой Пирсона 3-го типа $\nu = k - 4$. Полученная вероятность $px^2 = 0,3$ не является малой, поэтому предположение о том, что статистическое распределение определяется кривой Пирсона 3-го типа следует считать достоверным.

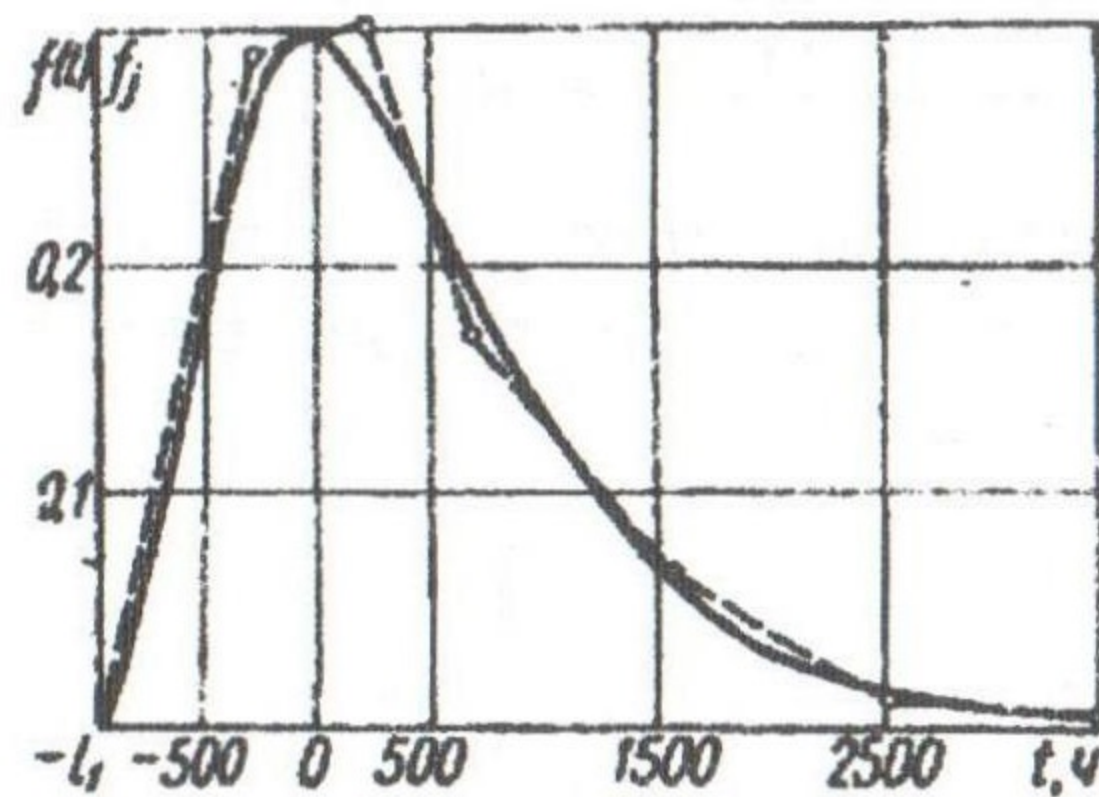


Рис. 1. Теоретическая кривая – сплошная линия; опытная кривая – штриховая линия

Проверка согласованности теоретического и экспериментального распределений была проведена по критерию Пирсона с 5 % уровнем значимости. Число степеней свободы для кривой Пирсона 3-го типа $\nu = k - 4$. Полученная вероятность $px^2 = 0,3$ не является малой, поэтому предположение о том, что статистическое распределение определяется кривой Пирсона 3-го типа следует считать достоверным. Окончательная функция плотности распределения будет иметь вид

$$f_{3(t)} = f_{3_0} \left(1 + \frac{t}{l_1} \right)^p e^{-p \frac{t}{l_1}}, \quad (8)$$

$$-l_1 \leq t \leq +\infty.$$

Вероятность безотказной работы каната

$$P_{(t)} = 1 - \int_{-l_1}^t f_{(t)} dt$$

или с учетом формулы (8)

$$P_{(t)} = 1 - f_{3_0} \int_{-l_1}^t \left(1 + \frac{t}{l_1}\right)^p e^{-p \frac{t}{l_1}} dt. \quad (9)$$

Вероятность отказа

$$Q_{(t)} = 1 - P_{(t)}$$

или

$$Q_{(t)} = f_{3_0} \int_{-l_1}^t \left(1 + \frac{t}{l_1}\right)^p e^{-p \frac{t}{l_1}} dt. \quad (10)$$

На рис. 2 представлены кривая вероятности безотказной работы каната и кривая вероятности отказа.

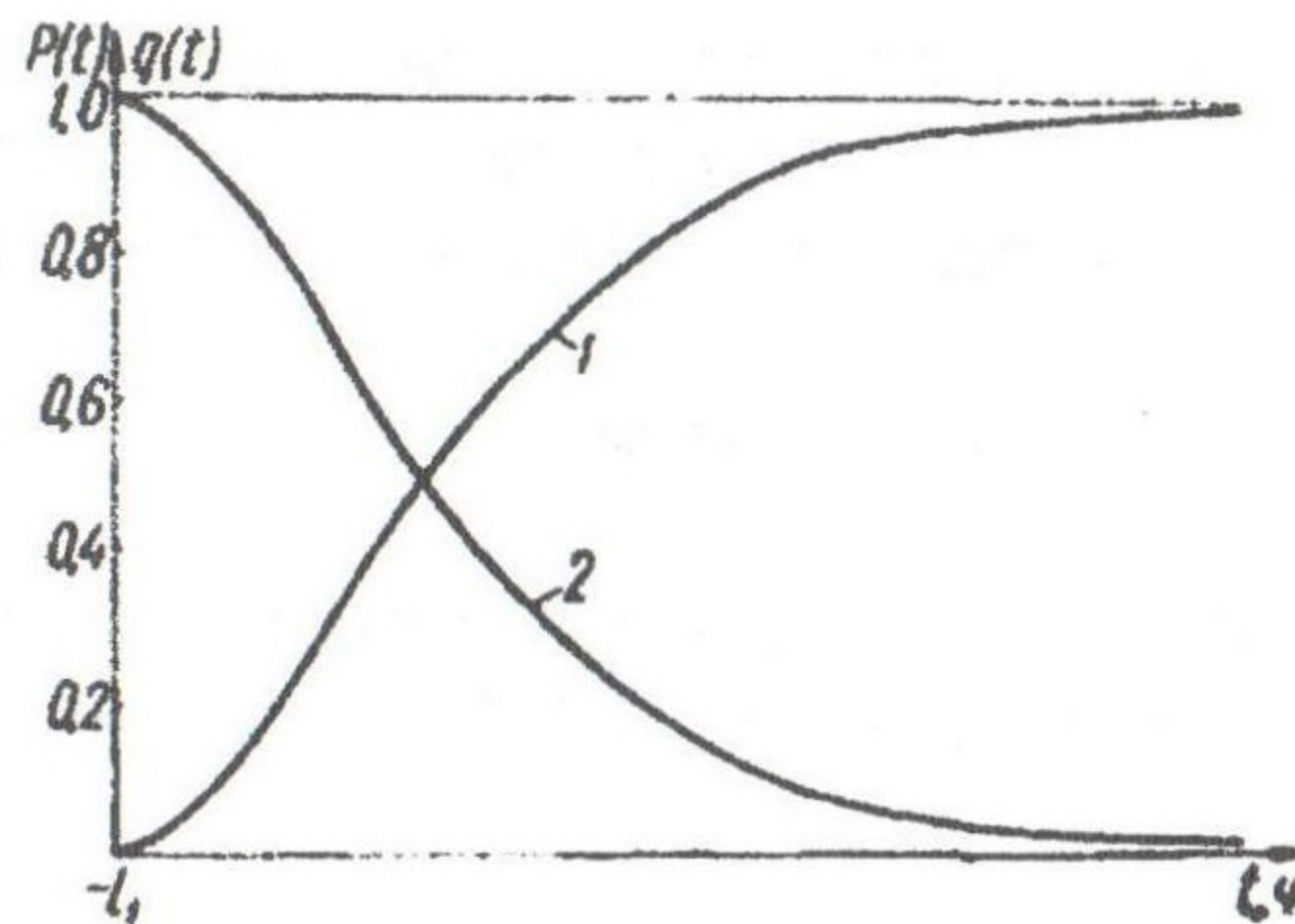


Рис. 2. $P_{(t)}$ – кривая 1; $Q_{(t)}$ – кривая 2.

Среднее время безотказной работы каната

$$X_{cp} = f_{3_0} \int_{-l_1}^{\infty} t \left(1 + \frac{t}{l_1}\right)^p e^{-p \frac{t}{l_1}} dt. \quad (11)$$

Дисперсия времени безотказной работы

$$D_{(t)} = f_{3_0} \int_{-l_1}^{\infty} (t - X_{cp})^2 \left(1 + \frac{t}{l_1}\right)^p e^{-p \frac{t}{l_1}} dt. \quad (12)$$

Коэффициент расхода каната за навигацию

$$K = \frac{n_0}{n_1 c}, \quad (13)$$

где n_0 – количество зарегистрированных отказов;

n_1 – количество одновременно эксплуатируемых канатов;

c – количество навигаций в исследуемом промежутке времени.

Выводы

1. В настоящее время нет установленного эталона оценки работоспособности каната. Ее числом перегибов каната на блоках, величинами деформаций, количеством разорванных проволок на шаге свивки каната.

2. Предлагаемая методика позволяет определять наработку каната временем (в часах).

3. Наряду с коэффициентом расхода каната за навигацию можно определить и другие характеристики надежности каната.

Литература

1. Бекерский В.И. Применение канатов на судах и в портах. – М. «Транспорт», 1986. –150 с.
2. Дукельский А.И. О выборе канатов для подъемных кранов. «Строительное и дорожное машиностроение», 1958, № 1.
3. Житков Д.Г., Поспехов И.Т. Стальные канаты для подъемно-транспортных машин. М., Металлургиздат, 1953. –387 с.