

УДК 621.892

В. В. Тарасов, доктор технических наук, профессор
 Институт прикладной механики Уральского отделения Российской академии наук, Ижевск
В. Н. Новиков
 Ижевская государственная сельскохозяйственная академия
Е. А. Калентьев, аспирант
 Институт прикладной механики Уральского отделения Российской академии наук, Ижевск
А. В. Чуркин, кандидат технических наук
 Институт прикладной механики Уральского отделения Российской академии наук, Ижевск
В. А. Постников
 ОАО «Гипрогазцентр», Ижевск
Ю. В. Пузанов, кандидат технических наук, доцент
 Ижевский государственный технический университет

К МЕТОДИКЕ ВЫБОРА СМАЗОЧНОГО МАТЕРИАЛА ПРИ ТРЕНИИ СТАЛЬНОГО КАНАТА

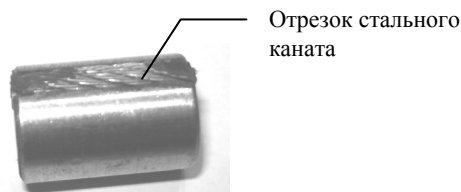
Представлена методика контроля смазочного материала, используемого для смазывания стальных канатов. Выявлены основные факторы, влияющие на коэффициент трения стальных канатов. Получена математическая модель для определения коэффициента трения стального каната.

Ключевые слова: планирование эксперимента, шунгит, смазочный материал, стальной канат, коэффициент трения

Долговечность стального каната во многом определяется смазочным материалом, который при правильном подборе позволяет снизить коэффициент трения как между проволоками в прядях, так и в зоне контакта внешней поверхности каната с рабочей поверхностью блока.

Нарушение условий смазки или ее отсутствие в контактных зонах существенно осложняет условия эксплуатации каната, что ведет к повышенному износу проволок и их интенсивному разрушению. При разрыве проволок снижается несущая способность стального каната, и по достижении критического количества оборванных проволок канат подлежит выбраковке [1].

Стальной канат является специфическим объектом исследования, имеющим сложное геометрическое строение, в частности затрудняющее проведение трибологических испытаний. Поэтому были разработаны оригинальные образцы [2], которые позволяют максимально приблизить условия трения и изнашивания в канате с учетом особенностей его конструкции (рис. 1).



Отрезок стального
каната

Рис. 1. Вид образца с вкладышем из стального каната для машины трения марки SRV-III

Истирание каната производилось по образцам из чугуна марки СЧ-15 (материал канатных блоков).



Рис. 2. Контртело для изнашивания стального каната

В ходе проведения предварительных однофакторных экспериментов выбраны факторы, влияющие на коэффициент трения каната, определены верхние и нижние границы этих факторов (табл. 1).

Таблица 1. Исследуемые факторы в действительных значениях

Фактор	Уровень			Интервал варьирования
	нижний (-1)	нулевой (0)	верхний (+1)	
Амплитуда X_1 , мкм	100	1550	3000	1450
Частота X_2 , Гц	30	45	60	15
Нагрузка X_3 , Н	100	125	150	25
Температура X_4 , °C	-25	12,5	+50	37,5

Критерием оптимизации выбран коэффициент трения Y .

Для решения поставленной задачи использован 4-факторный план Бокса (B_4). Эксперименты проведены с трехкратной повторностью. Для каждого эксперимента получен критерий оптимизации.

Средняя величина показателя оптимизации определялась по формуле

$$\bar{Y} = \frac{\sum_{i=1}^n y_i}{n}, \quad (1)$$

где y_i – значение параметра оптимизации при i -й повторности.

В табл. 2 приведена матрица плана Бокса (B_4) для полного факторного эксперимента со средней величиной показателя оптимизации.

Испытания проводились на стальном канате диаметром 3 мм.

Перед проведением эксперимента все образцы смазаны канатной смазкой Торсиол-55.

Результаты экспериментальных исследований обрабатывались при помощи программы «STATGRAPHIC Plus».

В результате расчета коэффициентов получена математическая модель в закодированном виде, связывающая влияние четырех факторов на коэффициент трения стального каната.

Таблица 2. Матрица планирования эксперимента по плану Бокса (B_4) при кодированных значениях факторов

№ опыта	Фактор				Критерий оптимизации
	X_1	X_2	X_3	X_4	
1	-1	-1	-1	-1	0,5728
2	+1	-1	-1	-1	0,2919
3	-1	+1	-1	-1	0,5519
4	+1	+1	-1	-1	0,3413
5	-1	-1	+1	-1	0,6552
6	+1	-1	+1	-1	0,2864
7	-1	+1	+1	-1	0,6171
8	+1	+1	+1	-1	0,2620
9	-1	-1	-1	+1	0,2902
10	+1	-1	-1	+1	0,1521
11	-1	+1	-1	+1	0,2455
12	+1	+1	-1	+1	0,2370
13	-1	-1	+1	+1	0,3173
14	+1	-1	+1	+1	0,2639
15	-1	+1	+1	+1	0,1891
16	+1	+1	+1	+1	0,1856
17	+1	0	0	0	0,1908
18	-1	0	0	0	0,4228
19	0	+1	0	0	0,2437
20	0	-1	0	0	0,2503
21	0	0	+1	0	0,2052
22	0	0	-1	0	0,1930
23	0	0	0	+1	0,1514
24	0	0	0	-1	0,2390

Уравнение математической модели имеет следующий вид:

$$\begin{aligned}
 Y = & 0,202298 - 0,917167X_1 - 0,0114944X_2 + 0,00589444X_3 - 0,0991944X_4 + \\
 & + 0,104502 X_1^2 + 0,0164688X_1X_2 - 0,0891875X_1X_3 + 0,0632438X_1X_4 + \\
 & + 0,0447021 X_2^2 - 0,0211063X_2X_3 - 0,00826875X_2X_4 - 0,00319792 X_3^2 - \\
 & - 0,00198125X_3X_4 - 0,00709792 X_4^2 .
 \end{aligned}$$

Значимость коэффициентов регрессии проверялась по критерию Стьюдента, при этом коэффициенты считаются значимыми, если расчетное значение t_p больше $t_{\text{табл}}$, где $t_{\text{табл}} = 2,3$ при уровне значимости $p = 0,05$. Графическое отображение значимости коэффициентов математической представлено на рис. 3.

Диаграмма показывает, что наибольшее влияние в заданных интервалах варьирования факторов на коэффициент трения оказывает температура испытаний и амплитуда колебания, а частота колебаний и нагрузка факторы малозначимые.

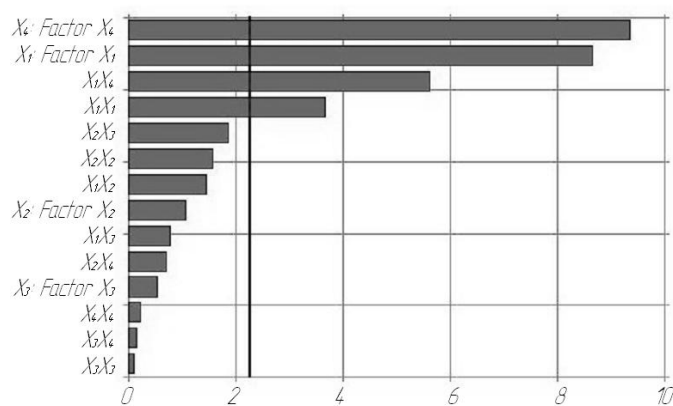


Рис. 3. Столбчатая диаграмма значимости коэффициентов математической модели

С учетом проведенного ранжирования уравнение математической модели примет следующий окончательный вид:

$$Y = 0,202 - 0,917X_1 - 0,099X_4 + 0,105 X_1^2 + 0,063X_1X_4 - 0,007 X_4^2 .$$

С помощью программы «STATGRAPHIC Plus» получено графическое изображение поверхности отклика (рис. 4), отражающее зависимость между критерием оптимизации и двумя независимыми переменными: $Y = f(A, T)$.

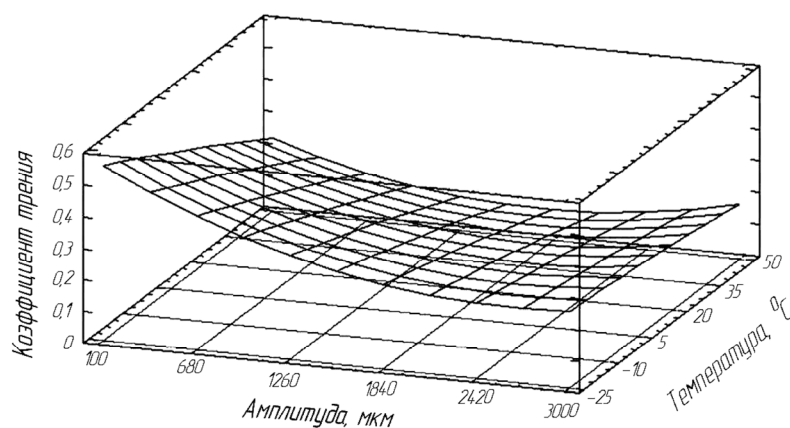


Рис. 4. Графическое представление поверхности отклика

Анализ поверхности отклика (рис. 4) удобно приводить с помощью двумерных сечений (рис. 5).

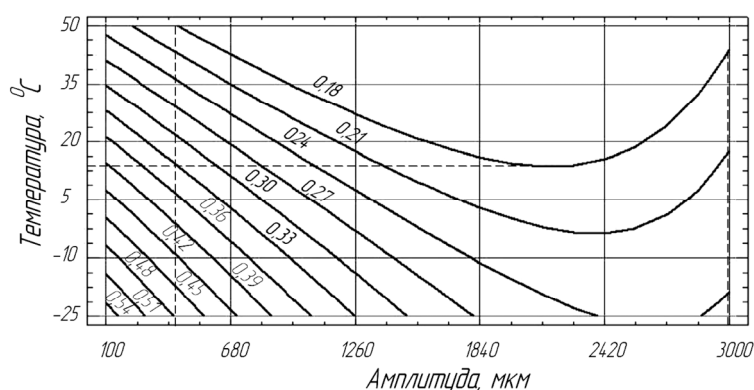


Рис. 5. Вид двумерных сечений, характеризующих коэффициент трения

Из рис. 4, 5 видно, что при амплитуде колебаний $A = 325 \dots 3000$ мкм и температуре испытаний $T = 13,5 \dots 50$ °С коэффициент трения принимает минимальное значение, равное 0,18.

Библиографические ссылки

1. Правила устройства и безопасной эксплуатации грузоподъемных кранов. – СПб. : ДЕ-АН, 2005. – 272 с.
2. Пат. 2374627 Российская Федерация МПК G 01N 19/02 (2006.01). Устройство для крепления канатов при их испытании / Тарасов В. В., Чуркин А. В., Новиков В. Н., Постников В. А., Калентьев Е. А. – Бюл. № 33 от 27.11.09.

V. V. Tarasov, Doctor of Technical Sciences, Professor, Institute of Applied Mechanics UB RAS, Izhevsk

V. N. Novikov, Izhevsk State Agricultural Academy

E. A. Kalentyev, Postgraduate Student, Institute of Applied Mechanics UB RAS, Izhevsk

A. V. Churkin, Candidate of Technical Sciences, Institute of Applied Mechanics UB RAS, Izhevsk

V. A. Postnikov, JSC "Giprogazsentr", Izhevsk

Yu. V. Puzanov, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Izhevsk State Technical University

On Selection Technique of Lubricant for a Steel Wire Rope at Friction

A checking technique of a lubricant used for oiling steel wire ropes is presented. Main factors, influencing upon friction coefficient of steel ropes are revealed, and a mathematical model for determination of the rope friction coefficient is built.

Keywords: Experiment planning, schungite, lubricant, steel wire rope, friction coefficient

Получено: 16.11.11