

УДК 620.172.22

© Смоляков С. Л.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ОЦЕНКА КОЭФФИЦИЕНТА ТРЕНИЯ КАБЕЛЯ О ШКИВ

Актуальность

Надежная оценка тяговой способности фрикционного привода невозможна без достоверных значений коэффициента трения гибкого органа о шкив. Имеющиеся в литературе /1, 2, 3, 4, 5/ сведения о величине коэффициента трения каната о шкив значительно расходятся, а для каротажных кабелей (в том числе геофизических) вообще отсутствуют.

Постановка проблемы

В настоящее время все больше внимания уделяется конструкции подъемников. Как известно основным моментом в конструировании является правильный выбор различных вспомогательных коэффициентов, одним из которых является коэффициент трения каната (кабеля) о шкив.

Из множества факторов, влияющих на величину коэффициента трения, для экспериментальной оценки выделены:

- натяжение кабеля;
- угол охвата шкива;
- наличие смазки;
- профиль ручья шкива.

Анализ исследований

Профессор Б.С. Ковальский в своей работе [4] писал, что выбор типа подъемного устройства диктуется многими соображениями – режимом работы, его конструкцией, местными условиями, а также соображениями экономическими, стремлением упростить его конструкцию.

Решение данной проблемы невозможно без достоверных данных о коэффициенте трения каната (кабеля) о шкив. Исследованию этого вопроса посвящены труды таких ученых как проф. Дукельского А.И. и др. [2]. Цикавый Л.А. предложил коэффициент трения считать зависящим от отношения r/d [1].

Постановка задачи

Обосновать необходимое количество опытов для кабелей КОБДФМ-2 диаметром $d = 6,1$; КТБ-6 диаметром $d = 12,0$; КГЗ-149-220 диаметром $d = 14,5$ мм. Выполнить экспериментальные исследования коэффициента трения кабеля о шкив.

Основной материал

Учитывая разброс значений измеряемых величин, для предварительной оценки результатов экспериментов мы используем графический метод обработки по СТ СЭВ 3542-82, как обладающий наибольшей наглядностью, с последующей математической обработкой результатов, с целью исключения из рассмотрения грубых промахов. Систематические погрешности были исключены из рассмотрения тарированием накладных динамометров.

Приняв отношение доверительной оценки точности к будущему эмпирическому стандарту ошибки равным единице, находим, что даже завышенной для каротажных подъемников надежности (доверительной вероятности) 0,95 необходимо провести в каждом случае 7 опытов /6/.

Так как предполагалась проверка наличия грубой погрешности, в результате наблюдений, то каждый опыт повторялся 12 - 15 раз.

По каждому опыту была произведена проверка нормальности распределения результатов наблюдений с помощью вероятностных сеток в соответствии с требованиями СТ СЭВ 3542-82. Для проверки наличия грубых погрешностей в результате наблюдений была применена методика, описанная в работе /7/.

Определяем точечную оценку истинного значения измеряемой величины - среднее арифметическое из ряда n результатов наблюдений

$$\bar{a} = \frac{a_1 + a_2 + \dots + a_n}{n}, \quad (1)$$

где a_1, a_2, \dots, a_n – результаты отдельных наблюдений; к рассмотрению принимались наибольшие и наименьшие значения a_{max} и a_{min} .

После точечной оценки среднего квадратичного отклонения результатов

$$\sigma_n = \sqrt{\frac{(\bar{a} - a_1)^2 + (\bar{a} - a_2)^2 + \dots + (\bar{a} - a_n)^2}{n - 1}} \quad (2)$$

по величине уровня значимости $q = 1 - H$, где H – надежность (в нашем случае $H = 0,95$), определялась величина v_m для соответствующего числа наблюдений n (значения приведены в /7/).

n	7	8	9	10	11	12	13	14	15
v_m	2,09	2,17	2,24	2,29	2,38	2,39	2,43	2,46	2,49

После вычислений

$$v = \frac{\bar{a} - a_{min,max}}{\sigma_n}, \quad (3)$$

сравниваем значение v со значением v_m . При этом, если $v < v_m$, то нет достаточных оснований считать, что проверяемый результат наблюдения $a_{min,max}$ содержит грубую погрешность.

Такой метод обработки определил трудоемкость эксперимента, когда в результате сравнения все замеры, для которых $v < v_m$ были отброшены. Опыты повторялись до тех пор, пока в результате таких исключений мы не получили 7 или более не выходящих за рамки оценки результатов.

Контакт кабеля с ручьем шкива имеет те же особенности, что и контакт шестипрядного каната. Направление проволок внешнего повива брони не сильно отличается от направления проволок прядей при крестовой свивке. Поэтому можно ожидать, что для кабеля на блоке с полукруглым профилем ручья мы получим зависимость типа приведенной в /1/, но с другими значениями постоянных A и B (рис. 1,б)

$$f(r/d) = A - B \cdot \lg(2r/d - 1), \quad (4)$$

для канатов крестовой свивки, смазанных, с пеньковым сердечником в /1/ даны значения $A = 0,16$; $B = 0,038$.

Принципиальная схема эксперимента для определения коэффициента трения кабеля о шкив приведена на рис. 1, а. Кабель 1 охватывает блок 2, ось которого перемещается в вертикальных направляющих 3 (блок закреплен от вращения) и подвижный вращающийся-блок 4. Блок 4 закреплен на валу, подшипники которого укреплены на раме стенда. Концы кабеля закрепляются в зажиме 5, который установлен в специальном вырезе блока 4. Натяжение кабеля создается грузами 9 с помощью рычажной системы 8. Грузы 10 через рычаг 6, заставляют скользить кабель относительно неподвижного блока 2. В обе ветви кабеля включены накладные динамометры 7 – скобы с наклеенными тензодатчиками. Показания датчиков прочитывались на приборе ИД-62М. Динамометры 7 тарировались индивидуально для кабелей КОБДФМ-2 диаметром $d = 6,1$; КТБ-6 диаметром $d = 12,0$; КГЗ-149-220 диаметром $d = 14,5$ мм.

Опыты проводились на стальных блоках (ручьи блоков – полукруглый (рис. 1, б) и с подрезом (рис. 1, в); параметры ручьев (см. табл. 1) с тремя различными кабелями (см. табл. 2). В случае подрезанного профиля ручья блока были выполнены испытания только с кабелем КГЗ-149-220.

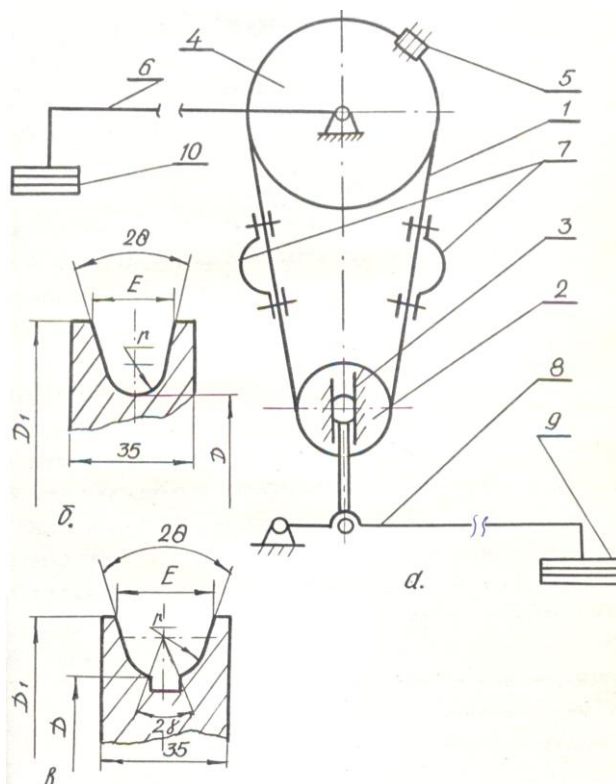


Рис. 1 - К определению тяговой способности шкива: а - схема экспериментальной установки; б - полукруглый профиль ручья блока; в - подрезанный профиль ручья блока

Таблица 1 - Характеристика блоков (рис. 1, б, в)

D , мм	D_1 , мм	E , мм	r , мм	2θ , град	2γ , град
200	236	22	4,5	80	-
	244	27	6,5	72	-
	244	27	7,5	64	-
250	286	22	4,5	80	29,52
	294	27	6,5	72	43,36
	294	27	7,5	64	56,10

Таблица 2 - Характеристика опытных кабелей

Тип кабеля	Диаметр d , мм	Число проволок, шт.		Толщина проволок, мм		Площадь сечения проволок брони F , мм ²	Отношение F/d^2
		наружный слой	внутренний слой	наружный слой	внутренний слой		
КОБДФ М-2	6,1	14	12	1,14	0,84	20,94	0,56
КТБ-6	12,0	23	21	1,35	1,14	54,36	0,38
КГЗ-	14,5	28	19	1,34	1,55	75,42	0,36

В соответствии с условиями работы кабеля в скважине, испытания по определению коэффициента трения проводились как с «мокрым», так и с «сухим» кабелем (образец кабеля для испытаний брался из бухты в состоянии поставки). В первом случае кабель погружался на сутки в глинистый раствор (получен на 10-ой Краснокутской скважине Харьковской нефтегазоразведочной экспедиции глубокого бурения) и лишь затем навешивался для испытаний. Глинистый раствор содержит химические реагенты *KCl*, *KMЦ*, *KССБ* (конденсированная сульфит-спиртовая барда). Характеристики раствора приведены в таблице 3. Показания динамометров регистрировались в начале проскальзывания кабеля относительно шкива (блока). По показаниям динамометров, при допущении об отсутствии дуги покоя, имеем по Эйлеру

$$e^{f\alpha} = S_1 / S_2 \text{ и } f = \frac{1}{\alpha} \ln(S_1 / S_2), \quad (5)$$

где S_1 и S_2 – показания динамометров;

α – угол обхвата.

Результаты опытов приведены в /8/.

Таблица 3 - Характеристика глинистого раствора

Наименование параметров	Значения
Плотность, г/см ³	1,22
Вязкость, с	80
Водоотдача, см ³ /л	8,5/30
Кислотность	6,5-7,0

Как и в опытах Л.А. Цикавого /1/, влияние натяжения кабеля на величину коэффициента трения обнаружено не было. Также не обнаружена какая либо четкая зависимость коэффициента трения от угла обхвата. Небольшое влияние на коэффициент трения оказывает глинистый раствор (коэффициент трения «мокрого» кабеля на 2-3% ниже «сухого»).

Значительное влияние на коэффициент трения оказывает отношение r/d , оно более резко в области отношений r/d близких к 0,5 и быстро затухает

при больших r/d . Принимая для обработок результатов экспериментов зависимость (4) для кабелей КОБДФМ-2 диаметром $d = 6,1$; КТБ-6 диаметром $d = 12,0$; КГЗ-149-220 диаметром $d = 14,5$ мм имеем, соответственно,

$$f_1 = A - B \cdot \text{th}10 \left(\frac{2 \cdot 4,5}{6,1} - 1 \right);$$

$$f_2 = A - B \cdot \text{th}10 \left(\frac{2 \cdot 6,5}{12,0} - 1 \right); \quad (6)$$

$$f_3 = A - B \cdot \text{th}10 \left(\frac{2 \cdot 7,5}{14,5} - 1 \right);$$

$f_1 = 0,109$; $f_2 = 0,118$; $f_3 = 0,125$ – средние экспериментальные значения коэффициентов трения.

Решение уравнений (6) дает: $A = 0,135$; $B = 0,024$. Таким образом, для испытанных кабелей можно принять значение приведенного коэффициента трения (рис. 2)

$$f = 0,135 - 0,024 \cdot \text{th}10 \cdot (2r/d - 1), \quad (7)$$

и получить значения коэффициента трения с учетом влияния формы ручья шкива (блока). В связи с большим постоянством цилиндрической формы геофизических кабелей можно рекомендовать значения $r/d = 0,52$, тогда $f = 0,125$. Износ ручья может изменить отношение r/d , поэтому одной из задач эксплуатации должно быть сохранение формы ручья шкива.

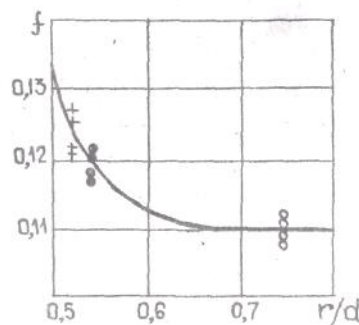


Рис. 2 - Зависимость коэффициента трения от отношения: экспериментальные значения для кабеля: + - КГЗ-149-220; • - для КТБ-6; ° - для КОБДФМ-2 r/d

Для случая подрезанного профиля ручья блока результаты приведены в /8/. Из разложения сил видно, что сила трения во всех случаях больше, чем у полукруглой канавки без подреза и зависит от угла подреза 2γ . Влияние угла подреза на коэффициент трения велико. Ориентируясь на /1/ можно принять

$$f^* = f/\cos\gamma. \quad (8)$$

Тогда для кабеля КГЗ-149-220 имеем

$$f^* = 0,125/\cos\gamma. \quad (9)$$

График f^* приведен на рисунке 1.5.

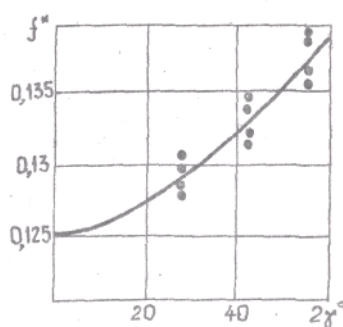


Рис. 3 - Зависимость коэффициента трения от угла подреза 2γ : • - экспериментальные значения для кабеля КГЗ-149-220

Увеличивая 2γ можно заметно повысить тяговое усилие шкива. Этот момент, а также то, что при износе ручья тяговые свойства шкива остаются неизменными, способствовали широкому применению рассматриваемого решения в шкивных приводах лифтов /1/, но встречаются шкивы с подрезанными профилями и в других случаях. Основным недостатком ручья с подрезом является увеличение удельного поперечного давления, которое вызывает повышенный износ каната (кабеля). Возможны случаи, когда рационально применять шкивы $2\gamma=30^\circ$, увеличив коэффициент трения на 30% и давление на 120%, но в случае каротажного кабеля это исключено, т.к. возрастает вероятность пробоя токопроводящих жил при более высоких поперечных нагрузках.

Вывод

Выполнены экспериментальные исследования коэффициента трения кабеля о шкив. В результате обработки экспериментальных исследований получена зависимость, позволяющая определить значение коэффициента трения кабеля о шкив. Эта зависимость может быть использована при конструировании различных типов подъёмников.

Список использованных источников

1. Цикавый Л. А. Тяговая способность канатов ведущего шкива : дис. ... канд. техн. наук / Л. А. Цикавый. – Х., 1951. – 128 с.
2. Дукельский А. И. Подвесные канатные дороги и кабельные краны / А. И. Дукельский. – М.: Машиностроение, 1966. – 484 с.
3. Хайменс Ф. Подъёмники с канатов ведущими шкивами / Ф. Хайменс, А. Хальборн. – М., 1937. – 320 с.
4. Ковальский Б. С. Механическое оборудование. Элементы грузоподъёмных устройств / Б. С. Ковальский. – Х. : ХВКИУ, 1971. – 340 с.
5. Stephan P. Die Drahtscilbahnen / P. Stephan. – Berlin : Springer, 1926. – 572 p.
6. Румшицкий Л. З. Математическая обработка результатов эксперимента / Л. З. Румшицкий. – М. : Наука, 1971. – 192 с.
7. Житков Д. Г. Об испытаниях стальных канатов на выносливость / Д. Г. Житков, И. Т. Поспехов // Техническое усовершенствование в механизации подъёмно-транспортных работ. – М. : Машгиз, 1948. – С. 42–54.
8. Смоляков С. Л. Исследование упругих и фрикционных свойств кабеля для каротажного подъёмника : дис. ... канд. техн. наук / С. Л. Смоляков. – Х., 1989. – 115 с.

Смоляков С.Л. «Экспериментальная оценка коэффициента трения кабеля о шкив»

В работе рассматриваются экспериментальные исследования коэффициента трения кабеля о шкив. В результате обработки экспериментальных исследований получена зависимость, позволяющая определить значение коэффициента трения кабеля о шкив. Эта зависимость может быть использована при конструирования различных типов подъёмников.

Смоляков С.Л. «Експериментальна оцінка коефіцієнта тертя кабелю об шків»

У роботі розглядаються експериментальні дослідження коефіцієнта тертя кабелю об шків. В результаті обробки експериментальних досліджень отримана залежність, що дозволяє визначити значення коефіцієнта тертя кабелю об шків. Ця залежність може бути використана при конструюванні різних типів підйомників.

Smolyakov S.L. «Experimental estimation of coefficient of friction of cable at a pulley»

The experimental researches of coefficient of friction of cable at a pulley are examined in the work. As a result of treatment of experimental researches dependence, allowing to define the value of coefficient of friction of cable at a pulley, is got. This dependence can be used for constructing of different types of lifts.