

УДК 621.86.065:539.62

О.В. Хромов, инженер, Севастоп. нац. техн. ун-т

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК ВНУТРЕННЕГО ТРЕНИЯ СТАЛЬНЫХ СПИРАЛЬНЫХ КАНАТОВ И ПРОВОЛОКИ

О.В. Хромов. **Експериментальні дослідження характеристик внутрішнього тертя сталевих спіральних канатів і дроту.** Приведено результати досліджень коефіцієнтів демпфірування тонких сталевих спіральних канатів і дроту при подовжніх коливаннях вертикально підвішеного вантажу. Встановлено загальні властивості внутрішнього тертя конструкцій із витих дротів.

О.В. Хромов. **Экспериментальное исследование характеристик внутреннего трения стальных спиральных канатов и проволоки.** Приведены результаты исследований коэффициентов демпфирования тонких стальных спиральных канатов и проволоки при продольных колебаниях вертикально подвешенного груза. Установлены общие свойства внутреннего трения конструкций из витых проволок.

O.V. Khromov. **Experimental study of internal friction characteristics of steel helical rope and wire.** The results of studying damping factors of fine steel helical ropes and wire under longitudinal vibrations of a vertically suspended weight are presented. General properties of internal friction of twisted-wire constructions are established.

При математическом моделировании колебаний механических систем, в которых упругими связями являются стальные канаты или проволока (колебания груза в подъемных установках, колебания катушек в машинах для свивки и перемотки проволочных изделий), представляет интерес выбор вида и параметров функции внутреннего трения. В литературе нет однозначных рекомендаций по виду функции трения и сведений о численных значениях коэффициентов демпфирования для стальной проволоки и спиральных канатов [1...3]. В связи с этим экспериментальное определение указанных параметров для конкретных элементов остается актуальным.

Представляют интерес экспериментальные исследования коэффициентов демпфирования тонких стальных спиральных канатов и проволоки при продольных колебаниях вертикально подвешенного груза. При этом используется методика определения параметров функции внутреннего трения на основе анализа экспериментальной осциллограммы затухающих колебаний исследуемого объекта с одной степенью свободы. На экспериментальной установке верхний конец исследуемого стального спирального каната закреплен на жестком основании. На этом же основании установлено роликное устройство для измерения натяжения каната (рис. 1).

К нижнему концу каната прикреплен колеблющийся груз m и дополнительный груз с массой m_0 , который предназначен для задания начального отклонения осциллятора от состояния статического равновесия. Роликное измерительное устройство содержит тензодатчики и усилители. Сигнал от тензодатчиков поступает на компьютерный осциллограф. В состав осциллографа входят АЦП и персональный компьютер.

Расчетная схема исследуемой системы представлена на рис. 2. Движение груза описывается дифференциальным уравнением [4]

$$m\ddot{y} = F_{\text{тр}} + F_{\text{упр}}, \quad (1)$$

где $F_{\text{упр}} = -cy$ — сила упругости.

Для математического описания силы внутреннего трения целесообразно использовать комбинированную степенную функцию вида [5]

$$F_{\text{тр}} = -(B_1 \text{sign}(\dot{y}) + B_2 \dot{y} + B_3 \text{sign}(\dot{y})\dot{y}^2). \quad (2)$$

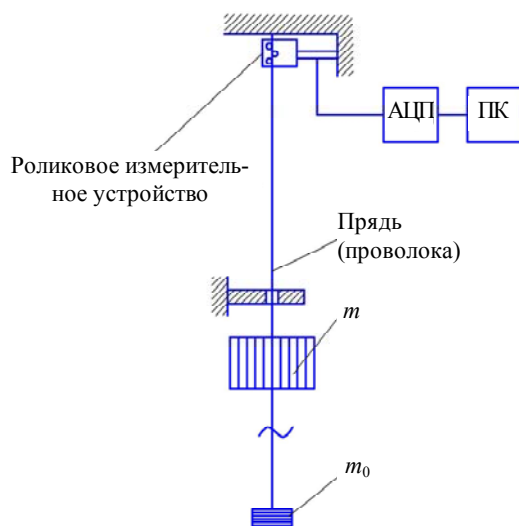


Рис. 1. Схема экспериментальной установки

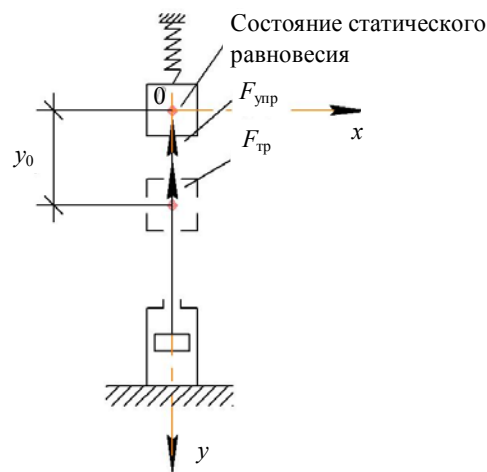


Рис. 2. Расчетная схема исследования внутреннего трения

Коэффициенты демпфирования $B_1 \dots B_3$ определяются на основании экспериментальной осциллограммы свободных колебаний с использованием двух критериев [2]. Это соответствие теоретического и экспериментального значений времени затухания Δt , а также соответствие теоретической и экспериментальной форм огибающей линии колебаний.

Исследовались демпфирующие свойства тонких стальных спиральных канатов (1+6), (1+6+12) и проволоки.

Эксперименты выполнялись по такому алгоритму:

- к измерительному роликковому устройству подключались электронный усилитель и компьютерный осциллограф;
- на исследуемый канат (проволоку) подвешивался груз с заданной массой m ;
- включался компьютерный осциллограф, фиксировалось нулевое положение осциллограммы в состоянии статического равновесия;
- подвешивалась дополнительная масса m_0 , определяющая начальную координату;
- режущим инструментом отделялась масса m_0 . После этого груз m совершал собственные затухающие колебания, выполнялась запись осциллограммы.

В первом эксперименте использовался канат конструкции (1+6) со следующими характеристиками:

- диаметр центральной проволоки $d_1 = 0,25$ мм;
- диаметр проволоки в слое $d_2 = 0,24$ мм;
- шаг свивки $H = 5,84$ мм;
- длина каната $l = 2$ м.

На рис. 3 представлен вид экспериментальной осциллограммы колебаний груза.

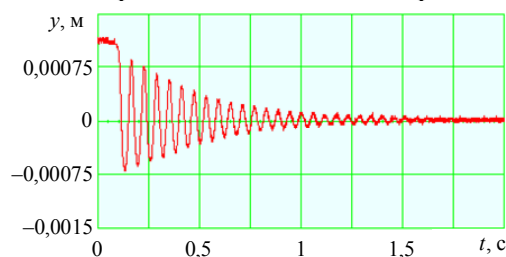


Рис. 3. Диаграмма собственных колебаний груза на стальном спиральном канате конструкции (1+6)

Определение неизвестных коэффициентов демпфирования $B_1 \dots B_3$ функции (2) при заданных массах $m = 2,14$ кг и $m_0 = 2$ кг требует выполнения трех процедур:

Первая из них состоит в фиксировании по экспериментальной осциллограмме следующих параметров:

— начальный момент времени затухающих колебаний $t_1 = 0,1$ с;

— начальная координата $y_0 = 1,025 \cdot 10^{-3}$ м;

— начальная скорость $\dot{y}_0 = 0$ м/с;

— период собственных колебаний $T_s = 0,06$ с;

— определяется продольная жесткость исследуемого элемента по формуле

$$c_s = m \left(\frac{2\pi}{T_s} \right)^2 = 2,355 \cdot 10^4 \text{ Н/м.}$$

Вторая состоит в фиксации координат 4...6 произвольных точек, лежащих на огибающей линии (табл. 1).

Таблица 1

Координаты точек огибающей линии осциллограммы

Порядковый номер точки	1	2	3	4	5
Параметры					
$y, \text{ мм} \times 10^{-3}$	0,83	0,37	0,19	0,097	0,044
$t, \text{ с}$	0	0,375	0,675	0,9625	1,425

Третья процедура сводится к визуальной проверке соответствия точек огибающих линий экспериментальной и расчетной осциллограмм. Для этого задаются значения B_i в первом приближении ($B_1 = 0,021$, $B_2 = 10,7$, $B_3 = 107$). Численно решается дифференциальное уравнение (1). Строится расчетная диаграмма колебаний.

Если экспериментальные точки не совпадают с расчетными, как на рис. 4, то все процедуры повторяются при новой комбинации значений коэффициентов $B_1 \dots B_3$. После нескольких промежуточных итераций получена конечная комбинация коэффициентов демпфирования: $B_1 = 0,002$, $B_2 = 7,4$, $B_3 = 60$, при которых достигается достаточно точное соответствие (погрешность не превышает 5 %) экспериментальных и расчетных координат точек на осциллограммах колебаний (рис. 5).

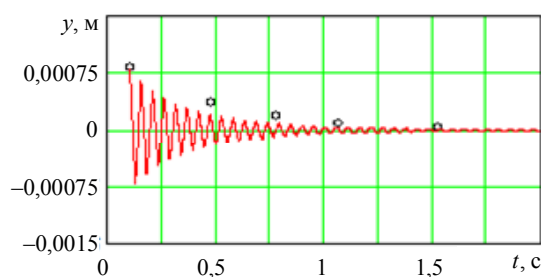


Рис. 4. Расчетный график колебаний в первом приближении (○ — точки с экспериментальной осциллограммы)

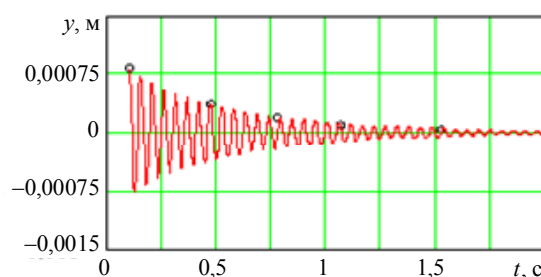


Рис. 5. Расчетный график колебаний для конечной комбинации коэффициентов демпфирования

Для указанного каната проведены эксперименты при других значениях колеблющейся массы $m = 4,12$ и $m = 6,08$ кг (табл. 2).

Таблица 2

Коэффициенты демпфирования каната конструкции (1+6)

Колеблющаяся масса, кг	Среднее натяжение каната, Н	B_1	B_2	B_3
6,1	60	0,002	6,5	58
4,1	40	0,002	7	60
2,1	20	0,002	7,4	60

Аналогичные эксперименты и их обработка выполнены для спирального каната (1+6+12) диаметром 1,02 мм и проволоки диаметром 1 мм. Полученные значения коэффициентов демпфирования представлены в табл. 3.

Таблица 3

Коэффициенты демпфирования каната конструкции (1+6+12)

	B_1	B_2	B_3
Прядь (1+6+12)	0,0031...0,0037	6...8	167...178
Проволока, $d = 1$ мм	0,008...0,009	4...5	230...235

На основании выполненных исследований можно сделать ряд общих выводов о свойствах внутреннего трения стальной проволоки и тонких спиральных канатов:

— характер внутреннего трения наиболее полно отражается с помощью комбинированной степенной функции вида (2);

— полученные на основе итерационной процедуры значения коэффициентов демпфирования обеспечивают соответствие расчетной и экспериментальной осциллограмм колебаний с погрешностью не более 1...5 % как по времени затухания, так и по характеру огибающей линии;

— в исследованном диапазоне изменения колеблющейся массы (1...8 кг) не наблюдается какой-либо устойчивой связи между величиной статического натяжения и коэффициентами демпфирования. Поэтому в прикладных расчетах можно использовать средние значения коэффициентов, приведенных в таблицах 2, 3.

Литература

1. Зелюкова, Р.В. Определение коэффициентов сопротивления в канатах по предельным характеристикам рассеяния энергии / Р.В. Зелюкова // Стал. канаты. — К.: Техника, 1967. — Вып. 4. — С. 59 — 64.
2. Дебривный, И.Е. К исследованию затухания колебаний в стальных тросах / И.Е. Дебривный // Вопр. рассеяния энергии при колебаниях упругих систем. — К.: Гостехиздат. — 1962. — С. 42 — 47.
3. Ганкус, Я. Модули упругости компактированных канатов подъемных механизмов / Я. Ганкус // Стал. канаты. — Одесса: Астропринт, 2001. — Вып. 2. — С. 11 — 23.
4. Пановко, Я.Г. Основы прикладной теории колебаний / Я.Г. Пановко. — М.: Машиностроение, 1967. — 313 с.
5. Хромов Е. В. Исследования вида функции внутреннего трения для собственных изгибных колебаний стальной балки / Е.В. Хромов, О.В. Хромов // Новые материалы и технологии в металлургии и машиностроении. — 2008. — № 1. — С. 111 — 114.

Рецензент д-р техн. наук, проф. Одес. нац. политехн. ун-та Чаюн И.М.

Поступила в редакцию 13 марта 2009 г.