

МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ УПРУГОДИССИПАТИВНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ТЕЛА НАМОТКИ С УЧЕТОМ НЕЛИНЕЙНОСТИ ДИНАМИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ*

М. Н. НУРИЕВ

(Азербайджанский государственный экономический университет)

Как показано в [1], упругодиссипативные параметры тела намотки, полученные экспериментально в предположении линейности ее свойств, пригодны только в узком диапазоне технологических режимов, близких к условиям испытаний.

Для определения упругодиссипативных свойств тела намотки с учетом их нелинейности необходимо анализировать закон движения системы при ее свободных колебаниях на некотором, довольно продолжительном, участке времени. О характере нелинейности необходимо сделать предварительное допущение, не нарушающее общности рассуждений.

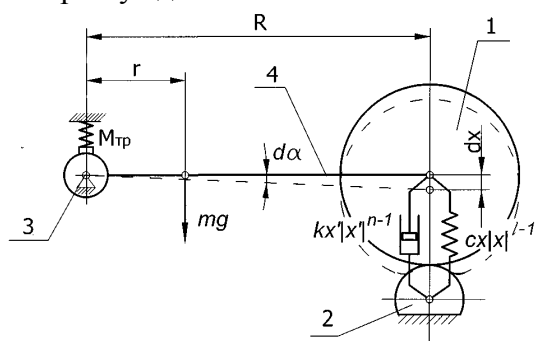


Рис. 1

Рассмотрим решение задачи на примере степенной зависимости сил сопротивления от скорости и сил упругости от смещения. Расчетная схема экспериментальной установки приведена на рис. 1. Бобина 1, жестко закрепленная на рычаге 4, выводится из состояния равновесия и начинает совершать колебания под действием силы тяжести и упругости в зоне контакта ее с моторным валом 2. В течение нескольких первых периодов колебания может происходить разрыв контакта. Такой режим работы устройства должен быть исключен из дальнейшего рассмотрения. Колебания постепенно затухают, при этом причиной затухающего характера колебаний являются как сила трения в опоре 3, так и влияние вязкости тела намотки.

Приняв за переменную угол поворота α подвижной части системы относительно положения покоя, составим уравнение движения системы:

$$\alpha'' + \frac{kR}{J} \alpha' |\alpha'|^{n-1} + \frac{cR^2}{J} \alpha |\alpha|^{l-1} + \frac{M_{тр}}{J} \frac{|\alpha'|}{\alpha'} + \frac{m g r}{J} = 0, \quad (1)$$

где J – момент инерции подвижной части системы; R – расстояние от опоры до центра тяжести бобины; k – коэффициент демпфирования системы; c – коэффициент жесткости системы; r – расстояние от опоры до центра тяжести системы; $M_{тр}$ – мо-

мент трения в опоре рычага 4; m – масса подвижной части системы; n и l – параметры, характеризующие нелинейность упругих и диссипативных свойств тела намотки.

* Работа выполнена под руководством проф., докт. техн. наук. П.Н. Рудовского.

Аналитическое решение уравнения связано со значительными трудностями. Зная экспериментальный закон движения, можно подобрать значения коэффициентов в выражении (1) таким образом, чтобы разница между расчетными и экспериментальными законами движения была наименьшей.

В уравнении (1) присутствуют два неизвестных параметра: J и $M_{тр}$. Их значения можно определить экспериментально на этапе подготовки эксперимента. Для этого нужно привести систему в движение, имеющее свободный колебательный характер, без влияния упругих и диссипативных характеристик тела намотки, как это показано на рис. 2 (расчетная схема системы при определении момента трения в опоре и момента инерции массы подвижной части).

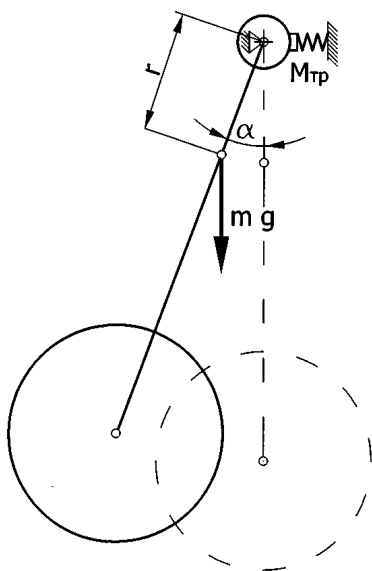


Рис. 2

При этом, если пренебречь сопротивлением воздуха, затухание происходит только за счет трения в опоре 3.

Закон движения в этом случае будет описываться следующим дифференциальным уравнением:

$$\alpha'' + \frac{m g r}{J} \sin \alpha + \frac{M_{тр}}{J} \frac{|\alpha'|}{\alpha'} = 0. \quad (2)$$

Если принять, что при малых углах выполняется равенство $\sin \alpha = \alpha$, то уравнение (2) примет вид:

$$\alpha'' + \frac{m g r}{J} \alpha + \frac{M_{тр}}{J} \frac{|\alpha'|}{\alpha'} = 0. \quad (3)$$

Обозначив:

$$\frac{m g r}{J} = p^2 \quad \text{и} \quad \frac{M_{тр}}{J} = p^2 \beta, \quad (4)$$

получим

$$\alpha'' + p^2 \alpha + p^2 \beta \frac{|\alpha'|}{\alpha'} = 0. \quad (5)$$

В [2], [3] описан способ нахождения величин p и β исходя из закона движения колебательной системы при сухом трении:

$$p = \frac{2\pi}{T}, \quad \beta = \frac{a_0 - a_1}{4}, \quad (6)$$

где p – циклическая частота колебаний; T – период колебаний; a_0 и a_1 – значения последовательных амплитуд колебаний.

Значения периода колебаний и амплитуд определяются из экспериментально полученного закона движения. Параметры p и β рассчитываются по (6) и подставляются в (4) для нахождения интересующих нас величин J и $M_{тр}$.

В уравнение (1) входят четыре неизвестных параметра c , k , n и ℓ , которые описывают упругодиссипативные свойства динамической системы, приведенной на рис. 1. Их нахождение сводится к поиску минимума целевой функции методами многомерной безусловной оптимизации [4]. В качестве целевой функции при нахождении искомых параметров использовалось среднее квадратичное отклонение $S(c, k, n, \ell)$ решения дифференциального уравнения (1) от экспериментального закона движения. Так как о виде функции $S(c, k, n, \ell)$ ничего не известно, то задача

решалась методом "координатного спуска". В качестве первого приближения полагаем $n=1$ и $\ell=1$, а c и k определялись согласно [2]:

$$c = \frac{4\pi^2}{T^2 R^2} J, \quad k = \frac{2J}{TR} \ln \frac{a_0}{a_1}. \quad (7)$$

Если решение уравнения (1) при каких-то значениях этих параметров будет незначительно отличаться от результатов, полученных экспериментально, то можно считать, что найденные значения параметров описывают упругодиссипативные свойства паковки.

Для реализации описанного метода определения упругодиссипативных параметров текстильных паковок разработан программно-аппаратный комплекс, включающий в себя:

– стенд, моделирующий упругую систему, в состав которой входит исследуемая бобина;

– комплект датчиков, которые установлены на стенде и позволяют снять данные об экспериментальном законе движения бобины в двух режимах, предусмотренных разработанной методикой;

– устройство сопряжения датчиков с ЭВМ для оцифровки результатов измерения и передачи их для обработки в ЭВМ;

– программное обеспечение, в котором реализована обработка данных и произво-

дится расчет искомых упругодиссипативных параметров тела намотки.

ВЫВОДЫ

1. Показано, что путем сопоставления экспериментального закона движения упругой системы с решением модельного дифференциального уравнения можно определить параметры тела намотки, характеризующие ее упругие и диссипативные свойства.

2. Предложена методика экспериментального определения потерь в опоре бобинодержателя и момента инерции массы подвижных частей системы, необходимых для решения модельного дифференциального уравнения.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Титов С.Н.* Нелинейная механика текстильных процессов: монография. – Кострома: КГТУ, 2004.

2. *Пановко Я.Г.* Основы прикладной теории упругих колебаний. – М.: Машиностроение, 1967.

3. *Тимошенко С.П., Янг Д.Х., Уивер У.* Колебания в инженерном деле. – М.: Машиностроение, 1985.

4. *Севостьянов А.Г., Севостьянов П.А.* Оптимизация механико-технологических процессов текстильной промышленности. – М.: Легпромбытиздат, 1991.

Рекомендована кафедрой теоретической механики и сопротивления материалов. Поступила 25.12.06.