УДК 677.052.96-752

РАСЧЕТ РАССЕЯНИЯ ЭНЕРГИИ КОЛЕБАНИЙ В ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ТЕКСТИЛЬНОЙ ПАКОВКЕ С ПАРАЛЛЕЛЬНОЙ НАМОТКОЙ НИТИ

THE CALCULATION OF THE VIBRATIONS ENERGY DISPERSION IN A CYLINDRICAL TEXTILE BOBBIN WITH A THREAD PARALLEL BUILD

Н.Ю. ЛАБАЙ, П.Н. РУДОВСКИЙ, С.В. ПАЛОЧКИН
N.JU. LABAJ, P.N. RUDOVSKY, S.V. PALOCHKIN

(Московский государственный текстильный университет им. А.Н. Косыгина, Костромской государственный технологический университет)
(Moscow State Textile University "A.N. Kosygin", Kostroma State Technological University)
E-mail: office@msta.ac.ru, ksu@ksu.edu.ru

Рассмотрен вопрос демпфирования колебаний в текстильной паковке с учетом изменения давления между слоями намотки и поперечной деформации нити. Дана методика теоретического расчета рассеяния энергии за цикл изгибных колебаний патрона.

The question of vibrations damping in a textile bobbin taking into account the pressure change between twisting layers and lateral deformation of a thread is considered. The technique of theoretical calculation of energy dispersion for a cycle of flexural vibrations of a chuck is given.

Ключевые слова: колебания, демпфирование, рассеяние энергии, текстильная паковка, намотка, нить, натяжение, давление, деформация, трение.

Keywords: vibrations, damping, energy dispersion, textile bobbin, twisting, a thread, a tension, pressure, deformation, a friction.

Для построения динамических моделей фрикционных мотальных механизмов необходимо знать не только инерционные и упругие, но и диссипативные характеристики их элементов и узлов, а также учитывать влияние нарабатываемой текстильной паковки на общую динамику механизма. В связи с этим исследование демпфирования колебаний в текстильных паковках является актуальным и обоснованным с точки зрения практической значимости поставленной проблемы.

Настоящая работа посвящена вопросам теоретического расчета рассеяния энергии за цикл колебаний в цилиндрической паковке с параллельной намоткой нити. На первом этапе разработки математической модели демпфирования колебаний в рассматриваемом теле намотки [1] авторами был принят ряд упрощающих допущений, в том числе и допущения о постоянстве давления между слоями намотки нити и отсутствии деформаций ее поперечных сечений в процессе намотки. Однако на практике при формировании тела намотки под действием давления наматываемых витков верхнего слоя происходит деформация поперечных сечений нити, а следовательно, и радиальное перемещение витков предыдущего нижнего слоя в направлении оси вращения патрона (оправки). Перемещение слоя витков на меньший радиус приводит к снижению натяжения в витке и уменьшению его давления на витки, расположенные ближе к поверхности патрона.

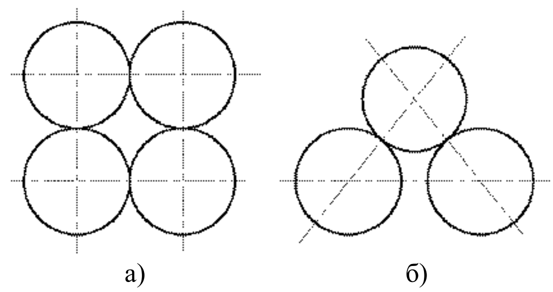

Рис. 1

Задача об изменении давления между слоями витков текстильной паковки с учетом контактной жесткости нити была рассмотрена в [2], но при квадратной схеме упаковки витков в намотке (рис. 1-а), которая является весьма неустойчивой и существование которой возможно только при очень жестких ограничениях. Поэтому рассматриваем эту задачу для наиболее вероятной и реальной треугольной схемы упаковки, при которой виток каждого последующего верхнего слоя располагается во впадине между двумя витками предыдущего нижнего слоя (рис. 1-б), считая, что витки нижнего слоя не касаются друг друга.

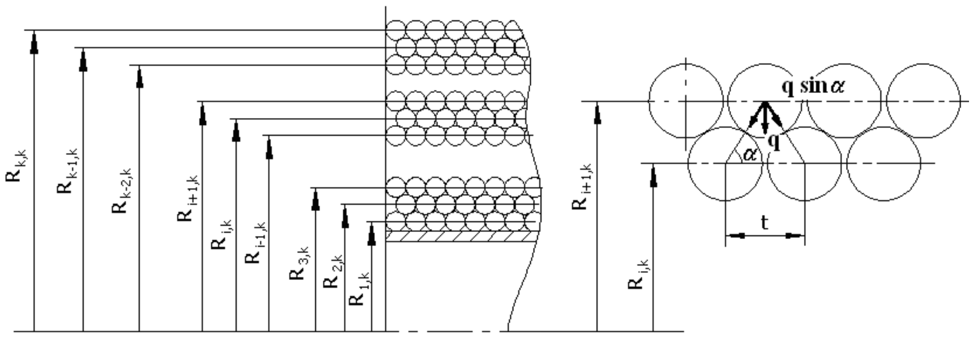

Рис. 2

При намотке витков нити диаметром d на круглый патрон радиуса R_0 с шагом намотки t каждый i-й слой витков наматывается с заданной силой натяжения T_i, вследствие чего возникают давления между соседними слоями витков нити, а также между первым слоем витков нити и патроном (рис. 2 – к выводу зависимости давления между витками тела намотки от его толщины и радиуса наматывания). Обозначив через T_{ik} и R_{ik} силу натяжения и радиус i-го слоя после того, как намотан k-й слой, и через q_{ik} – нормальную силу давления между i-м и (i+1)-м слоями, отнесенную к единице длины нити, из условия равновесия витка [3] получаем систему уравнений:

$$T_{i,k} = R_{i,k}(q_{i,k} - q_{i+1,k}), \qquad (1)$$

где i, k = 1, 2,...,N – номер слоя витков; N – число слоев в теле намотки; $k \geq i$.

Считая согласно [2], что сближение двух витков пропорционально давлению между ними, рассчитываем его величину как

$$R_{i+1,k} - R_{i,k} = d\sin\alpha - cq_{i+1,k}, \qquad (2)$$

где α – угол между линией контакта витков и осью тела намотки; c – коэффициент, характеризующий контактную жесткость нити.

Принимая, что изменение радиуса слоя пропорционально изменению действующей на него со стороны соседних слоев нормальной нагрузки, имеем:

$$R_{i,k} = R_{i,i} + (q_{i,k} - q_{i+1,k} - q_{i,i})R_{i,k}^2/(EA), \qquad (3)$$

где EA – продольная жесткость нити.

Для решения системы уравнений (1)…(3) с целью определения параметров T_{ik}, R_{ik} и q_{ik} предполагаем, что число слоев велико и значения искомых величин медленно изменяются при переходе от слоя к слою. Тогда можно ввести в рассмотрение функции T(x,y), R(x,y) и q(x,y) от непрерывных аргументов x и y. Значения этих функций совпадают с соответствующими значениями параметров T_{ik}, R_{ik} и q_{ik} при x=i и y=k, что позволяет записать уравнения:

$$q_{i,k} - q_{i+1,k} = -\frac{\partial q(x,y)}{\partial x}$$

и (4)

$$R_{i+1,k} - R_{i,k} = \frac{\partial R(x,y)}{\partial x}.$$

С учетом (4) систему уравнений (1)…(3) приводим к системе дифференциальных уравнений:

$$\begin{gathered} T(x,y) = -R(x,y)\frac{\partial q(x,y)}{\partial x}, \\ \frac{\partial R(x,y)}{\partial x} = d\sin\alpha - cq(x,y), \\ R(x,y) = R(x,x) - \frac{R^2(x,y)}{EA}\left[\frac{\partial q(x,y)}{\partial x} + q(x,x)\right] \end{gathered} \qquad (5)$$

с граничными условиями:

$$\begin{gathered} T(x,x) = R(x,x)q(x,x) = T(x), \\ R(0,y) = R_0 + d/2, \\ R(0,0) = R_0, \end{gathered} \qquad (6)$$

где T(x) – сила натяжения нити верхнего наматываемого слоя.

Решение такой системы дифференциальных уравнений приведено в [4].

Для рассматриваемой задачи при жестком недеформируемом патроне и неизменяющейся в процессе наматывания силе натяжения нити $T(x,x) = T_0$ решение системы (6) после пренебрежения рядом малых величин дает следующие зависимости:

$$q(x,y) = \frac{T_0}{R_0 + xd\sin\alpha} + \frac{T_0}{d\sin\alpha}\left[\left(1 + \frac{xd\sin\alpha}{R_0}\right)^{k-0,5} + \left(1 + \frac{xd\sin\alpha}{R_0}\right)^{-k-0,5}\right] \times$$

$$\times (k-0,5)^{-1}\left[\left(1 + \frac{xd\sin\alpha}{R_0}\right)^{-(k-0,5)} - \left(1 + \frac{yd\sin\alpha}{R_0}\right)^{-(k-0,5)}\right], \qquad (7)$$

$$R(x,y) = \int_0^y [d\sin\alpha - cq(x,y)]\partial x = xd\sin\alpha - c\int_0^y q(x,y)\partial x, \qquad (8)$$

где $\int_0^y q(x,y)\partial x = \frac{T_0}{d\sin\alpha}\ln\left(1+\frac{yd\sin\alpha}{R_0}\right)$, (9)

$$\sin\alpha = \sqrt{1-(0,5t/d)^2}\ , \qquad (10)$$

$$k = \sqrt{0,5 + cEA/(d^2\sin^2\alpha)}\ . \qquad (11)$$

Формула для расчета рассеяния энергии в одном контакте двух соседних витков тела намотки длиной ℓ за цикл изгибных колебаний с амплитудой ν патрона (оправки) диаметром D_0, полученная в [1], с учетом переменности параметров q и R приобретает вид:

$$W_1(x,y) = 4fF_n s = 4fq(x,y)\sin\alpha 2\pi R(x,y)0,5d\Delta\alpha = 4f\pi d\Delta\alpha q(x,y)R(x,y)\ , \qquad (12)$$

где $\Delta\alpha = 0,5\left[\arccos\left(0,5t\left(1-\frac{2R_0\nu}{\nu^2+1^2}\right)/d\right)-\right.$

$$\left.-\arccos\left(0,5t\left(1+\frac{2R_0\nu}{\nu^2+1^2}\right)/d\right)\right];$$

f – коэффициент трения между витками нити; F_n – нормальная сила в контакте двух соседних витков; $s = 0,5d\Delta\alpha$ – длина дуги относительного скольжения в контакте двух соседних витков за четверть цикла колебаний; Δα – величина изменения угла α за четверть цикла колебаний.

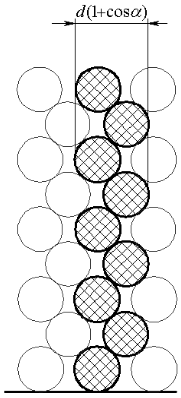

Рис. 3

Тогда рассеяние энергии колебаний за цикл в одном элементарном вертикальном кольцевом слое тела намотки (рис. 3) можно рассчитать как

$$W_c = \int_0^y W_1(x,y)\partial x =$$

$$= 4\pi f d\Delta\alpha\int_0^y q(x,y)R(x,y)\partial x, \qquad (13)$$

или с учетом (8) и (9):

$$W_c = 4\pi f d\Delta\alpha\int_0^y q(x,y)[xd\sin\alpha -$$

$$-c\frac{T_0}{d\sin\alpha}\ln(1+\frac{yd\sin\alpha}{R_0})]\partial x. \qquad (14)$$

где значение предела интегрирования y, равное числу слоев нити в теле намотки с внешним диаметром D, определяется при решении трансцендентного уравнения:

$$yd\sin\alpha - \frac{T_0 c}{d\sin\alpha}\ln\left(1+\frac{yd\sin\alpha}{R_0}\right) = 0,5D - R_0. \qquad (15)$$

Полное рассеяние энергии колебаний за цикл в рассматриваемой текстильной паковке длиной ℓ будет равно произведению величины W_c на число m ее элементарных вертикальных кольцевых слоев (рис. 3), то есть:

$$W = mW_c\ , \qquad (16)$$

где $$m = l/[d(1+\cos\alpha)]. \qquad (17)$$

Решение уравнения (15) аналитически невозможно, а интегрирование в (14) после подстановки (7) ведет к громоздким теоретическим выкладкам. Поэтому расчеты целесообразно проводить численными методами на компьютере, например, с использованием известной системы "MathCAD".

В Ы В О Д Ы

1. Рассмотрена задача об изменении давления между слоями витков цилиндрической текстильной паковки параллельной намотки с учетом контактной жесткости нити для треугольной схемы упаковки.

2. Получено решение системы дифференциальных уравнений для рассматриваемой задачи при жестком недеформируемом патроне и неизменяющейся в процессе наматывания силе натяжения нити.

3. Дана методика численного расчета полного рассеяния энергии в цилиндрической текстильной паковке с параллельной намоткой нити за цикл изгибных колебаний патрона (оправки).

ЛИТЕРАТУРА

1. *Рудовский П.Н., Палочкин С.В., Колягин А.Ю., Лабай Н.Ю.* Демпфирование колебаний в цилиндрическом теле намотки при изгибе оправки // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2010, № 5.

2. *Парнес М.Г.* Расчет и конструирование намоточных станков. – М.: Машиностроение, 1975.

3. *Минаков А.П.* Основы теории наматывания и сматывания нити // Текстильная промышленность. – 1944, № 10.

4. *Пономарев С.Д.и др.* Расчеты на прочность в машиностроении. – В 3 т., т.2 / Под ред. С.Д. Пономарева. – М.: Машгиз, 1959.

Рекомендована кафедрой прикладной механики МГТУ им. А.Н. Косыгина. Поступила 03.06.11.