

УДК 677.052.96-752

ДЕМПФИРОВАНИЕ КОЛЕБАНИЙ В ЦИЛИНДРИЧЕСКОМ ТЕЛЕ НАМОТКИ ПРИ ИЗГИБЕ ОПРАВКИ

П.Н. РУДОВСКИЙ, С.В. ПАЛОЧКИН, А.Ю. КОЛЯГИН, Н.Ю. ЛАБАЙ

(Костромской государственный технологический университет,
Московский государственный текстильный университет им. А.Н. Косыгина)

E-mail: ksu@ksu.edu.ru,

E-mail: office@msta.ac.ru

Рассмотрен вопрос демпфирования колебаний в текстильной паковке. Дана теоретическая зависимость для определения рассеяния энергии за цикл колебаний. Приведены результаты расчетов.

The question of vibrations damping in a body of winding is considered. For definition of dispersion of energy for a cycle of vibrations the theoretical formula is received. Results of calculations are brought.

Ключевые слова: колебания, демпфирование, рассеяние энергии, трение, паковка, намотка, веретено, шпиндель.

Демпфирование колебаний в мотальных механизмах оказывает существенное влияние на виброустойчивость текстильных машин.

Экспериментально доказано [1], что в формируемом на машинах с консольно-расположенным шпинделем веретена теле намотки (паковке) рассеяние энергии колебаний происходит, в основном, вследствие трения между витками нити при их относительном смещении, связанном с изгибом шпинделя веретена с патроном (оправки).

Для количественной оценки величины рассеянной за цикл энергии колебаний в цилиндрическом теле параллельной намотки при малом угле подъема витков разработана теоретическая модель, в основе которой лежат следующие допущения:

- нить по всей длине имеет постоянное круглое поперечное сечение;
- поперечные сечения нити в процессе намотки не деформируются;
- нить является гибкой;
- слои нити в теле намотки не перекрещиваются;

- давление между слоями витков тела намотки постоянно;
- трение между витками нити определяется законом Кулона-Амонтона;

- смещение слоя витков нити, прилегающего к поверхности оправки, относительно нее отсутствует;
- деформация оправки мала.

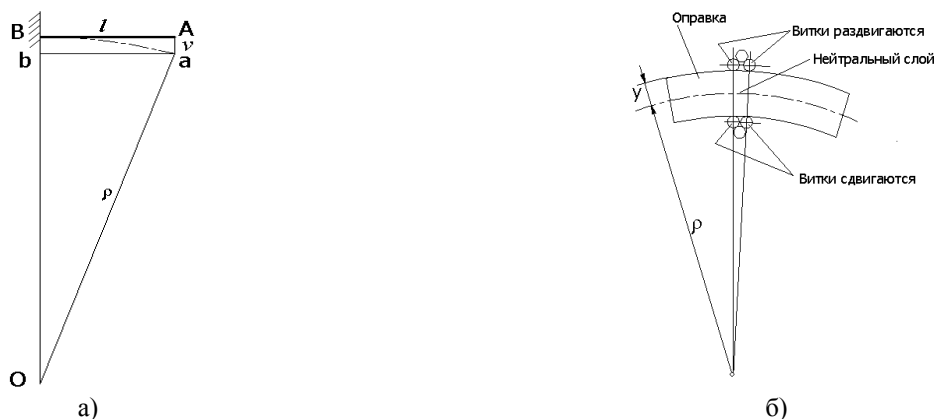


Рис. 1

При изгибе оправки (рис. 1-а) сечения витков тела намотки, расположенные на выпуклой стороне оправки (верхние сечения), раздвигаются, а сечения витков, расположенные на вогнутой стороне оправки (нижние сечения), сдвигаются друг относительно друга (рис. 1-б). Сечения витков, совпадающие с нейтральным слоем изогнутой оправки, не перемещаются.

Очевидно, что величина взаимного смещения витков определяется относительной деформацией слоя оправки, на котором располагаются центры их сечений.

Относительная деформация ε любого слоя оправки при чистом изгибе [2] равна

$$\varepsilon = y/\rho, \quad (1)$$

где y – расстояние до нейтрального слоя; ρ – радиус кривизны нейтрального слоя.

При известном значении прогиба v свободного конца оправки длиной l (рис. 1-а) определяем величину ρ :

$$\rho^2 = (\rho - v_A)^2 + l^2, \quad (2)$$

Решив это уравнение, получаем:

$$\rho = 0,5(v^2 + l^2) / v. \quad (3)$$

После подстановки (3) в (1) имеем:

$$\varepsilon = 2yv/(v^2 + l^2). \quad (4)$$

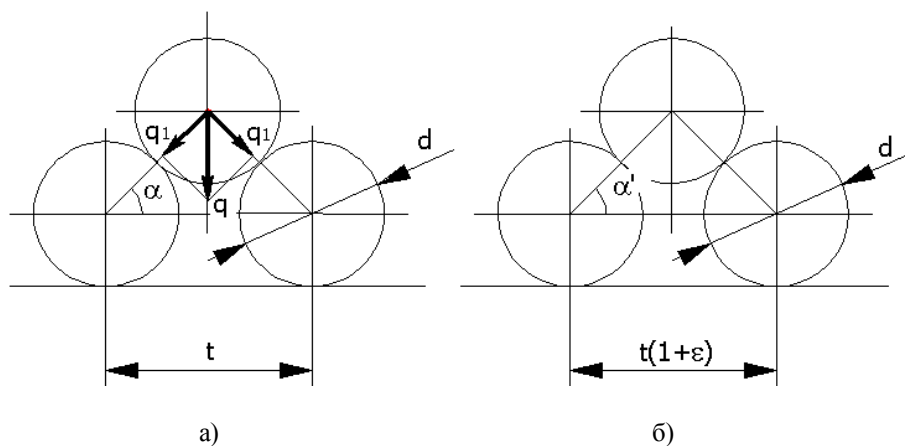


Рис. 2

Считаем, что витки в слое (рис.2 – схема относительного смещения витков намотки), прилегающем к поверхности оправки, до ее деформации (рис. 2-а) уложены с шагом t ; после деформации шаг верхних сечений витков (рис. 2-б) равен $t(1+\varepsilon)$,

$$\Delta\alpha_1 = \alpha - \alpha' = \arccos(0,5t/d) - \arccos(0,5t(1+\varepsilon)/d), \quad (5)$$

а изменение $\Delta\alpha_2$ начального угла α кон-

$$\Delta\alpha_2 = \alpha'' - \alpha = \arccos(0,5t(1-\varepsilon)/d) - \arccos(0,5t/d), \quad (6)$$

где d – диаметр нити.

Значения $\Delta\alpha_1$ и $\Delta\alpha_2$ при этом зависят от величины y и изменяются от нуля при $y_{\min} = 0$ до максимальных значений при $y_{\max} = 0,5D$.

Максимальные значения $\Delta\alpha_{1\max}$ и $\Delta\alpha_{2\max}$ соответствуют наибольшей дефор-

$$s = 0,5d \left(\frac{\Delta\alpha_{1\max} + \Delta\alpha_{2\max}}{2} \right) = 0,25d(\Delta\alpha_{1\max} + \Delta\alpha_{2\max}), \quad (8)$$

или с учетом (5), (6) и (7):

$$s = 0,25d \left[\arccos \left(0,5t \left(1 - \frac{Dv}{v^2 + l^2} \right) / d \right) - \arccos \left(0,5t \left(1 + \frac{Dv}{v^2 + l^2} \right) / d \right) \right]. \quad (9)$$

Линейная нагрузка q на виток (рис. 2-а) от силы натяжения нити T согласно [3] равна:

$$q = T / y_{\max} = 2T / D. \quad (10)$$

Соответственно нормальную линейную нагрузку в контакте между витками рас-

$$F_n = q_1 \pi D = \frac{2T}{D} \pi D \sin(\alpha) = 2\pi T \sin \left(\arccos \left(\frac{t}{2d} \right) \right) = 2\pi T \sqrt{1 - \left(\frac{t}{2d} \right)^2}. \quad (12)$$

Тогда рассеянная в одном контакте двух соседних витков тела намотки за цикл изгибных колебаний оправки с ам-

а шаг нижних сечений витков соответственно, равен $t(1-\varepsilon)$.

Тогда изменение $\Delta\alpha_1$ начального угла α контакта верхних сечений при деформации оправки составляет:

такта нижних сечений равно:

мации, равной согласно (4)

$$\varepsilon_{\max} = Dv / (v^2 + l^2), \quad (7)$$

где D – внешний диаметр оправки.

Дуга относительного скольжения (путь трения) в одном контакте двух соседних витков в ходе прогиба оправки от 0 до v составляет:

считываем как

$$q_1 = q \sin \alpha. \quad (11)$$

Следовательно, нормальная нагрузка на виток в пределах всей его окружности с учетом (10), (11) и $d \ll D$ составляет:

плитудой v энергия W_1 будет равна суммарной работе A сил трения в контакте:

$$W_1 = A = F_{\text{тр}} 4s = 4f F_n s, \quad (13)$$

где $F_{\text{тр}}$ – сила трения в контакте витков, f – коэффициент трения между витками нити.

Число витков в одном слое тела намотки длиной $L \leq \ell$ равно:

$$n_B = 1 + (L - d) / t. \quad (14)$$

Число контактов между витками двух соседних слоев составляет:

$$z_C = 2(n_B - 1) = 2(L - d) / t. \quad (15)$$

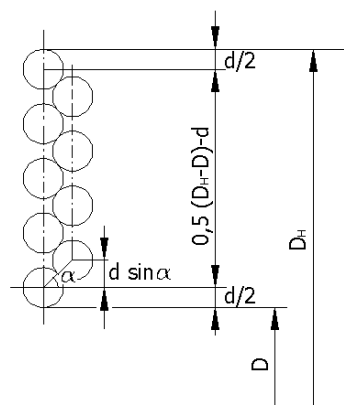


Рис. 3

где

$$K_\alpha = \left[\arccos \left(\frac{t \left(1 - \frac{Dv}{v^2 + \ell^2} \right)}{2d} \right) - \arccos \left(\frac{t \left(1 + \frac{Dv}{v^2 + \ell^2} \right)}{2d} \right) \right]. \quad (20)$$

Результаты численных расчетов, выполненных на базе полученных зависимостей (19) и (20) при постоянных значениях $T = 1$ Н, $f = 0,3$, $D_H = 40$ мм и $L = 200$ мм, представлены на рис. 4 (графики зависимостей $W = W(v, t)$): а – при $D = 16$ мм, $d = 0,5$ мм, $\ell = 250$ мм; б – при $D = 16$ мм, $d = 0,5$ мм, $t = 0,55$ мм; в – при $\ell = 250$ мм, $d = 0,5$ мм, $t = 0,55$ мм; г – при $\ell = 250$ мм, $D = 16$ мм, $t = 0,75$ мм).

Анализ расчетных зависимостей (19) и (20) и результатов вычислений показывает,

с учетом числа слоев тела намотки (рис. 3 – схема расположения слоев тела намотки), равного

$$n_C = [0,5(D_H - D - d) / d / \sin(\alpha) + 1], \quad (16)$$

определяем общее число контактов витков в теле намотки:

$$z = z_C(n_C - 1) = \frac{2(L - d)[0,5(D_H - D) - d]}{td \sin \alpha}. \quad (17)$$

Тогда полную рассеянную в теле намотки за цикл изгибных колебаний оправки энергию W рассчитываем как

$$W = zW_1. \quad (18)$$

Окончательная расчетная зависимость для определения величины W с учетом (9), (12), (13) и (17) имеет следующий вид:

$$W = 2\pi f T (D_H - D - 2d)(L - d) K_\alpha / t, \quad (19)$$

что рассеяние энергии в теле намотки за цикл колебаний:

- возрастает с увеличением силы натяжения наматываемой нити, коэффициента трения между витками и шага их намотки, внешнего диаметра и длины паковки, а также амплитуды ее колебаний;

- уменьшается с ростом диаметра нити;

- в диапазоне малых амплитуд колебаний практически не зависит от изменения внешнего диаметра оправки.

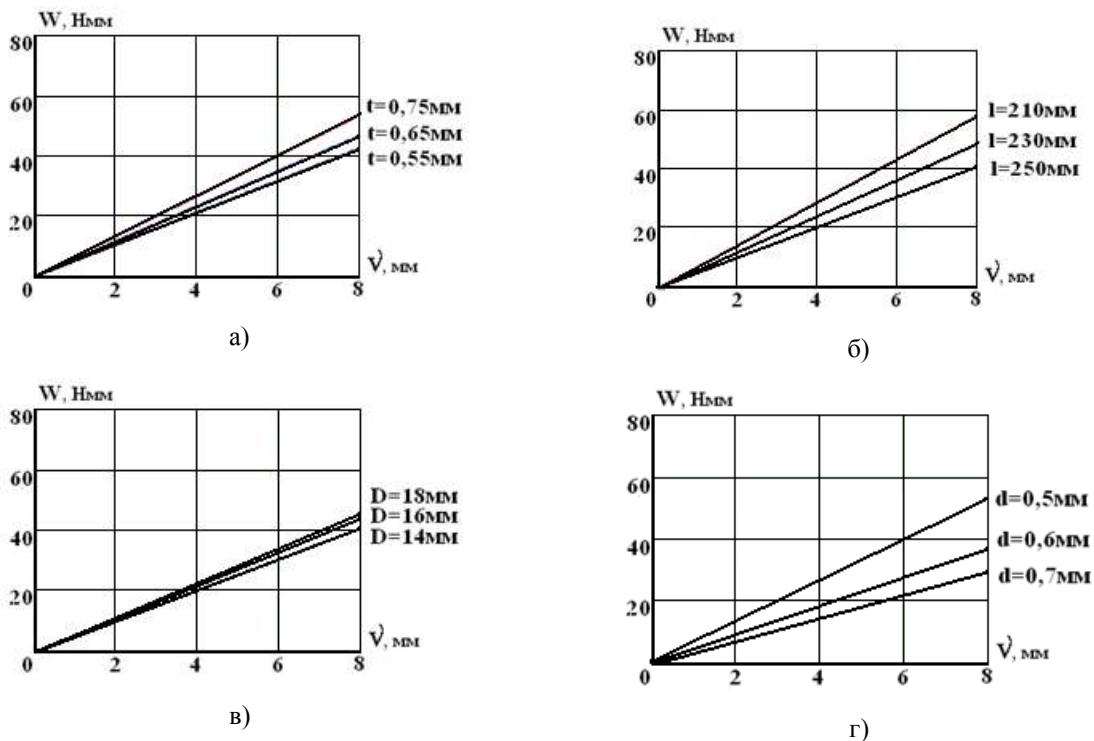


Рис. 4

Результаты теоретических расчетов по предложенной модели достаточно хорошо совпадают с экспериментальными данными [1].

ВЫВОДЫ

1. Разработана теоретическая модель рассеяния энергии колебаний в цилиндрическом теле намотки при изгибе оправки, позволяющая определять рассеяние энергии колебаний за цикл в теле намотки, а также относительное смещение, силы трения и потери энергии в единичном контакте витков.

2. Адекватность модели подтверждена качественным и достаточно хорошим количественным совпадением расчетных данных с результатами экспериментов.

3. Вместе с тем, разработанная модель описывает процесс демпфирования колебаний в теле намотки лишь в первом приближении и требует уточнения в ходе проведения дальнейших исследований поставленной проблемы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Колягин А.Ю., Палочкин С.В. // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2009, № 2С.
2. Феодосьев В.И. Сопротивление материалов – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 1999.
3. Минаков А.П. Основы теории наматывания и сматывания нити // Текстильная промышленность. – 1944, № 10.

Рекомендована кафедрой теоретической механики и сопротивления материалов КГТУ. Поступила 04.06.10.