

## ОСОБЕННОСТИ ВИБРАЦИЙ В ВАЛКОВЫХ МЕХАНИЗМАХ ПРИ КРАТКОВРЕМЕННЫХ ВОЗМУЩЕНИЯХ

*Г.К. КУЗНЕЦОВ, С.И. ТИТОВ, Ю.Г. ФОМИН, С.В. БЕЛОВ*

**(Костромской государственный технологический университет,  
Ивановская государственная текстильная академия)**

Источниками вибраций в валковых механизмах могут быть дефекты конструкции, изготовления и сборки одного из валов (эксцентриситет, овальность, смещение центра масс) [1], [2]. В этом случае возмущения имеют периодический характер с частотой, равной или кратной частоте вращения валов. Возмущения, возникающие в валковом модуле в связи с неравномерностью обрабатываемого материала и при нежелательных включениях в него, имеют аperiodический, чаще всего, случайный характер [3]. Колебательный про-

цесс в этом случае зависит от закономерностей изменения возмущающей силы при взаимодействии вала с прокатываемым материалом или формы кинематического возмущения [4]. Эта закономерность определяется также скоростью взаимодействия и свойствами материала, вызывающего возмущение [4].

Исследование этого явления проводили на базе основного уравнения вынужденных колебаний системы при наличии сил сопротивления и возмущающей функции (вынуждающей силы)  $F(t)$  в правой части:

$$\ddot{q} + 2n\dot{q} + k^2q = \frac{F(t)}{a}. \quad (1)$$

Здесь  $q$ ,  $\dot{q}$  и  $\ddot{q}$  – обобщенная координата, скорость и ускорение подвижного вала модуля от силового возмущения, действующего в течение короткого промежутка времени;  $n$  – коэффициент вязкости системы;  $k$  – частота собственных колебаний ( $k = \sqrt{c/a}$ , где  $c$  – коэффициент жесткости;  $a$  – коэффициент инерции).

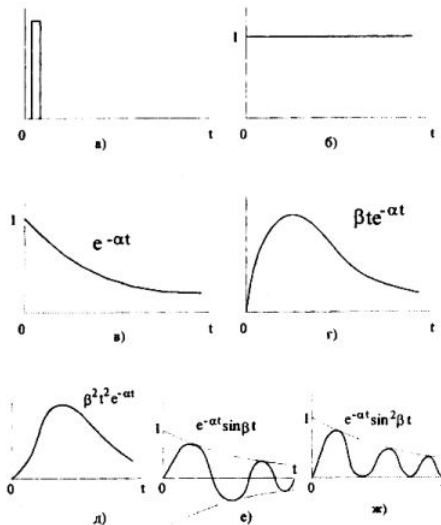


Рис. 1

Простейшим кратковременным возмущением, вызываемым жестким источником, является импульсное (рис. 1-а).

Для возмущений, соответствующих резкому утолщению жесткого прокаты-

ваемого материала при дальнейшем сохранении возросшей толщины (отжим кожзаготовок, ковриков) (рис. 1-б), решение уравнения колебаний (1) реализуется в следующем виде:

$$q = \frac{k'^2}{k^2} \left[ 1 - e^{-nt} \left( \cos k't + \frac{n}{k'} \sin k't \right) \right], \quad (2)$$

где  $k'$  – частота демпфированных колебаний.

Кратковременные возмущения другого вида представлены в виде графиков на рис. 1-в, г, д, е, ж.

Пропуск через жало валов утолщений малой протяженности, обладающих упругими и вязкими свойствами (иногда и пластичности), соответствует графикам на рис. 1-в, г, д.

Физическим аналогом такого утолщения являются, например, швы для соединения полотен обрабатываемой ткани [5]. Для возмущений, представленных на рис. 1-в, решение уравнения колебаний (1) имеет вид:

$$q = \frac{1}{1 + \mu^2} \left[ e^{-\alpha t} - e^{-nt} (\cos k't + \mu \sin k't) \right], \quad (3)$$

где  $\alpha$  – коэффициент, определяющий вязкие свойства материала утолщения;  $\mu$  – коэффициент, определяющий упругие свойства утолщения ( $\mu = n - \alpha/k'$ ).

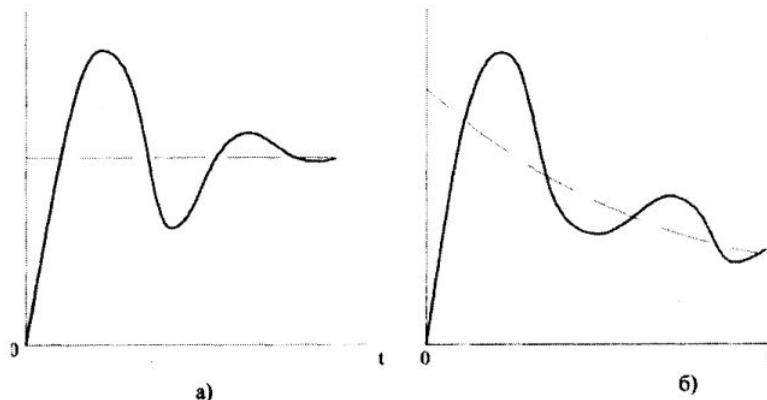


Рис. 2

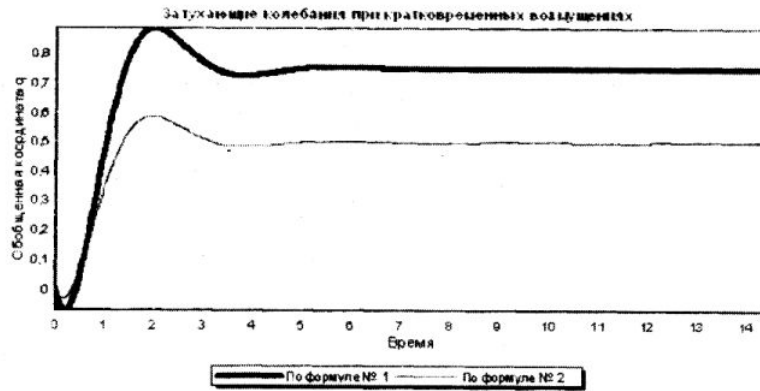


Рис. 3

Графики движения вала при этих вариантах возмущений (рис. 1-б, в) показаны на рис. 2-а, б (для  $k = 4$ ,  $n = 1$  и  $a = 0,2$ ).

Решение уравнений (1) и (2) на ЭВМ для импульса силы (рис. 1-б) при заданных параметрах ( $k = 1$ ;  $n = 2,5$ ;  $k' = 9,68$ ;  $\alpha = 0,00001$ ) представлено на рис. 3.

Для утолщений с упруговязкими свойствами и непрямоугольной формой импульса (рис. 1-г, д), примененного в момент времени  $t = \tau$ , решение дифференциального уравнения (1) при нулевых начальных условиях ( $q(0)=q_0$ ,  $\dot{q}(0) = \dot{q}_0$ ) соответствует импульсной переходной функции (функции Грина).

Решение имеет вид:

$$h(t, \tau) = \begin{cases} 0, & t \leq \tau \\ \frac{1}{k'} \ell^{-n(t-\tau)} \sin k'(t-\tau), & t > \tau \end{cases} \quad (4)$$

Внешнюю вынуждающую силу  $F(t)$  можно представить в виде совокупности бесконечно малых импульсов  $F(\tau)d\tau$  (рис.4).

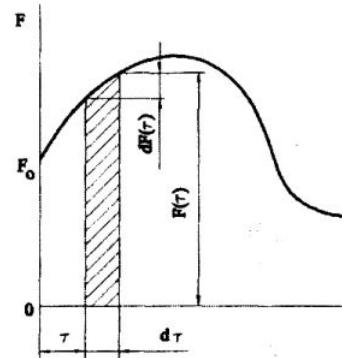


Рис. 4

Суммируя реакцию системы от каждого такого импульса на отрезке времени  $(0, t)$ , получим

$$q(t) = \frac{1}{a} \int_0^t h(t, \tau) F(\tau) d\tau. \quad (5)$$

Решение в форме (5) называют интегралом Дюамеля [4], [6] и применяют для непрямоугольной формы импульса при  $t < \tau$ .

Движение системы при  $t > \tau$  вычисляется по формуле

$$q(t) = q_\tau \ell^{-n(t-\tau)} \left[ \cos k'(t-\tau) + \frac{n}{k'} \sin k'(t-\tau) \right] + \frac{\dot{q}_\tau}{k'} \ell^{-n(t-\tau)} \sin k'(t-\tau). \quad (6)$$

Реакцию системы на действие любой кратковременной ( $\tau \ll T$ ) силы приближенно можно оценить ее импульсом:

$$q \approx \frac{\int_0^t F(\tau) d\tau}{ak} \sin kt. \quad (7)$$

Движение системы определяется величиной импульса  $\int_0^t F(\tau) d\tau$ , при этом его форма за промежуток времени  $[0, \tau]$  не играет роли.

Утолщения, обладающие ярко выраженными упругими свойствами, могут быть представлены графиками (рис. 1-е, ж), для которых теоретические закономерности колебаний объекта рассмотрены в [4].

Приведенный анализ является качественным, но может дать возможность прогнозировать характер колебаний в валковом модуле при знании свойств утолщений [5] и при других дефектах обрабатываемого материала.

## ВЫВОДЫ

1. Кратковременные возмущения в валковых модулях имеют периодический или случайный характер и сопровождаются вынужденными колебаниями системы, качественный анализ которых создает возможность их прогнозирования.

2. Характер колебаний зависит от формы возмущения, скорости и свойств обра-

батываемого материала. Данные примеры определяют выбор варианта решения дифференциального уравнения вынужденных колебаний валковой пары.

## ЛИТЕРАТУРА

1. *Картавенко В.М.* Влияние конструктивных параметров скоростных валковых отжимов текстильного отделочного оборудования на колебания и равномерность технологической нагрузки. Дис. ... канд. техн. наук. – М.: МТИ, 1982.
2. *Петровский В.С.* Влияние точности нажимного вала на колебания нагрузки // Вестник КГТУ. – 2002, №5.
3. *Кузнецов Г.К., Титов С.Н.* // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2000, №5.
4. *Вибрации в технике. Справочник.* – Т. 1. Колебания линейных систем. М.: Машиностроение, 1985.
5. *Фомин Ю.Г.* Основы теории, конструкция и расчет валковых машин. – Ч. 2. – Иваново, 1999.
6. *Тимошенко С.П., Янг Д.Х., Уивер У.* Колебания в инженерном деле. – М.: Машиностроение, 1985.

Рекомендована кафедрой проектирования текстильного отделочного оборудования ИГТА. Поступила 05.12.03.